Phys. gen.
270 x - 2

Digitized by Google

<36636476770012

<36636476770012

Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Digitized by Google

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Digitized by Google

Enkyklopädie

der

Experimental-Physik,

der

Astronomie, Geographie, Chemie, Physiologie,
Chronologie

nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der

Physik

von

Gotthard Oswald Marbach,
Doctor der Philosophie und akademischem Docenten zu Leipzig.

Zweiter Band.

E bis G.

Leipzig, 1835.
Otto Wigand's Verlags-Expedition.

Digitized by Google

Populäres

Physikalisches

Lexikon

oder

Handwörterbuch

der

gesammten Naturlehre

für

die Gebildeten aus allen Ständen

von

Gotthard Oswald Marbach,
Doctor der Philosophie und akademischem Docenten zu Leipzig.

Zweiter Band.

E bis G.

Was du ererbt von deinen Vätern hast,
Erwirb es, um es zu besitzen.
Göthe.

Leipzig, 1835.
Otto Wigand's Verlags-Expedition.

Digitized by Google

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Digitized by Google

E.

Ebbe und Fluth nennt man die Abwechselung von Sinken und Steigen des Wassers, welche an den Küsten des Meeres und an den Ufern sehr großer Flüsse stattzufinden pflegt. Dieses regelmäßige Steigen und Sinken wiederholt sich täglich zweimal, und zwar in folgender Art. Wenn das Wasser seine größte Höhe erreicht hat (volle Fluth, hohes Wasser eingetreten ist) so verweilt es eine kurze Zeit in diesem Stande, darauf aber beginnt es sich allmählig mehr und mehr zu senken, und an flachen, nicht abschüssigen Ufern von diesen zurückzutreten, ganze Küstenstrecken werden endlich vom Wasser entblößt und bieten eine für Fußgänger betretbare Gegend dar, nur in den Vertiefungen bleibt natürlich das Wasser stehen, wenn es keine Ableitung hat. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Höhe des Wassers abnimmt, ist nicht gleichmäßig, sondern zu Anfang geringer, dann größer und gegen das Ende der Zeit der Abnahme wieder geringer. Dieses Sinken oder Zurücktreten des Wassers ist die Ebbe. Nach Verlauf von etwas über 6 Stunden ist die tiefste Ebbe, das niedrigste Wasser eingetreten, welche nur wenige Minuten scheinbar einen unveränderlichen Wasserstand beibehält. Bald fängt das Wasser wieder zu steigen an, die Fluth tritt ein, erst langsam, dann schneller, zuletzt bis es wieder hohe Fluth geworden wieder mit abnehmender Geschwindigkeit. So wechseln fortwährend Fluth und Ebbe, höchster und niedrigster Wasserstand.

Die Fluth ist an dem nämlichen Orte nicht immer gleich hoch; man unterscheidet vielmehr, außerdem daß sie durch Stürme vielfache Modificationen erleiden, auch ein regelmäßig wiederkehrendes stärker und schwächer werden der Fluthen. Die stärksten Fluthen nämlich treten zur Zeit des Vollmondes und des Neumondes ein und heißen Springfluthen, wogegen die schwächsten Fluthen in die Zeiten der Mondsviertel fallen, und Nippfluthen (taube Fluthen) heißen.

Aber auch an den verschiedenen Küsten findet ein sehr bedeutender Unterschied in der Höhe der Fluthen statt, indem die Beschaffenheit der Umgrenzungen des Meeres in den verschiedenen Gegenden von Einfluß ist. Enge und nach allen Seiten zu eingeschlossene Meere zeigen gar keine Fluth und Ebbe, im Mittelmeer und in der Ostsee sind sie nur sehr gering. Durch die Stürme ist das Meer in fortwährender Bewegung, und von dem durch diese veranlaßten Schwankungen des Meeres kann man die Ebbe und Fluth nur durch die Regelmäßigkeit ihrer Wiederkehr unterscheiden. Durch eine einige Zeit fortgesetzte Beobachtung kann man denn auch beim Mittelmeer allerdings das Vorhandensein von Ebbe und Fluth, selbst im adriatischen Meere, bei Venedig und Triest, bemerken. Einige Gegenden des Mittelmeeres zeigen auch eine ziemlich bedeutende Fluth, so z. B. der Meerbusen von Cabes, die Küsten von Tunis, die Inseln Kerkeni, Phaila, der Canal von Ne-

groponte u. a. In der Ostsee scheint das Steigen und Sinken des Meeres (wie Schultens Beobachtungen zeigen) theils vom Winde, theils vom ungleichen Drucke der Atmosphäre (daher ungleichem Barometerstande in den verschiedenen Gegenden der Ostsee) veranlaßt zu werden, indem das Wasser dem stärkeren Drucke der Atmosphäre an dem einen Orte nachgibt, und nach einem anderen Orte hinströmt, wo ein schwächerer Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche des Meeres stattfindet; eine eigentliche Ebbe und Fluth aber, die regelmäßig wiederkehrte, scheint nicht stattzufinden. — Wo ein niedriges sich allmählig nach dem Meere zu abflachendes Ufer ist, pflegt die Fluth zwar eine größere Bedeckung vorher unbedeckten Landes zu bewirken, dagegen keine sehr auffallende Erhebung des Wassers stattzufinden; dieses ist dagegen vorzugsweise an steil aufsteigenden felsigen Ufern der Fall; hier finden die mit der Fluth kommenden Wellen einen unbesiegbaren Widerstand, thürmen sich daher auf, und indem die nachdrängenden Wellen die früheren drängen, erheben sie dieselben oft zu einer sehr beträchtlichen Höhe. Die Verschiedenheiten der Fluthhöhe in den verschiedenen Gegenden ergibt sich aus der Vergleichung folgender Beobachtungen. An den Mündungen der Elbe und Weser in der Nordsee steigt die Fluth 12 Fuß, bei Helgoland 6 Fuß. Beim Nordkap ist die Fluth 8 F., in der Hudsonsbay 16 F. Sehr gering ist die Fluth im stillen Meere bei den Gesellschaftsinseln, bei Otahaiti nur 1 F.; bei den Sandwichinseln beträgt die Höhe der Fluth 2 F. 6 Z.; an den Küsten von Neu-Seeland an einigen Orten 5 F. an anderen 10 F. bei Springfluthen; bei den Freundschaftsinseln 6 F., bei Macao 10 F. Im atlantischen Meere erhebt sich bei St. Helena die Fluth bei Springfluthen nur 39 Zoll, bei Nippfluthen 20 Zoll, bei den Canarischen Inseln 4 bis 8 F., bei den Azoren 5 bis 8 F.; bei Charlestown in Nordamerika 6 F., in Rio Janeiro 8 F., bei Martinique nur 1 ¼ F., dagegen am St. Johns Fluß 24 F., am Amazonen Fluß 30 Fuß. Bei Brest und Cap Lizard erhebt sich die Fluth bei Springfluthen über 18 F., fast eben so hoch bei Falmouth und Plymouth und an der ganzen Südküste von England; bei der Insel Guernsey steigt die Fluth 32 F., bei der Insel Jersey 38 F., bei St. Malo 46 F. (nach Einigen über 60 F.), bei Cherbourg 20 F., bei Dieppe 18 F., bei Boulogne und Calais 18 bis 19 F. Sehr hoch steigt die Fluth in dem Busen, in welchen die Severn mündet; während sie bei Cap Lizard nur 18 F., bei St. Ives 22 F. steigt, erhebt sie sich bei Barnstable bis zu einer Höhe von 26 F., bei Milford-Haven bis zu 36 F., vor der Severn bei Hung bis zu 45 F. Eine ähnliche Erscheinung ist an der Küste von Amerika; während nämlich an der Küste von Akadien das Meer bei Springfluthen nur 9 F. sich erhebt, steigt im Hintergrunde der Bai die Fluth zu 60 bis 70 F. Höhe.

Einzelne Gegenden bieten noch besondere Unregelmäßigkeiten dar. So findet in Tonking in Ostindien nur Eine Fluth und Eine Ebbe binnen 24 Stunden statt, außerdem hat jeder Monat zwei völlige Unterbrechungen der Fluthen, d. h. es findet eine Zeitlang gar keine Ebbe und Fluth statt; von einer solchen Ruhezeit des Meeres bis zur andern

Digitized by Google

vergehen 14 Tage, während welcher das Meer Ebbe und Fluth zeigt, und am 7. Tage die höchste Fluth erreicht. In der einen Hälfte des Monats pflegt die höchste Fluth mit dem aufgehenden Monde einzutreten, in der zweiten Hälfte des Monates dagegen mit dem untergehenden Monde. — In der Meerenge von Malacca fließt das Wasser einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu und 3 Stunden lang ab, bei Vera Cruz dauert der Zufluß und Abfluß sogar 24 Stunden und während eines Tages herrscht dort nur Eine Fluth und Eine Ebbe.

Wenn man aufmerksamer den regelmäßigen Gang der Ebbe und Fluth betrachtet, so zeigt sich bald ein merkwürdiger Zusammenhang dieser Naturerscheinung mit der Stellung des Mondes, welche derselbe gegen die Erde und Sonne einnimmt. Zunächst nämlich fällt auf, daß die volle Fluth täglich um 50 Minuten später eintritt und erst immer nach Verlauf von 14 Tagen wieder auf dieselbe Tagesstunde fällt; am Tage des Vollmondes und Neumondes ist die Zeit der Fluth genau dieselbe. Nun findet auch der Durchgang des Mondes durch den Meridian täglich 50 Minuten später statt; und wenn auch die Zeit des höchsten Wassers nicht genau mit dem Durchgange des Mondes durch den Meridian zusammenfällt, so findet man doch, daß der Durchgang des Mondes einen gleichmäßigen Gang mit dem Eintritte der vollen Fluth beobachtet, so nämlich daß mit dem Eintritte des Mondes in den Meridian an jedem Tage fast genau derselbe Zustand der Fluth oder Ebbe zusammenfällt. Die Zeit, welche zwei ganze Fluthzeiten (wo sich Ebbe, Fluth, Ebbe, Fluth folgen) einnehmen, ist genau dieselbe, welche von einem Durchgange des Meridianes bis zum andern vergeht. Man bemerkt ferner bei fortgesetzter Beobachtung, daß die Springfluthen (welche das höchste Wasser bringen) um die Zeiten des Vollmondes und Neumondes fallen, während die Nippfluthen (die unbedeutendsten Fluthen) zur Zeit der Mondsviertel eintreten. Gegen die Zeit des Vollmondes und Neumondes hin also wachsen die Fluthen und nehmen gegen die Zeit der Viertel wieder ab; die größten Fluthen aber treffen erst $1\frac{1}{2}$ Tag nach dem Neumonde oder Vollmonde ein und eben so fallen die Nippfluthen nicht genau mit den Mondsvierteln zusammen. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beschleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Opposition (Neumond oder Vollmond) der Quadratur (Viertel) zugeht, und verzögert, wenn derselbe von der Quadratur der Conjunction und Opposition entgegengeht. Endlich findet auch noch nach Verschiedenheit der Annäherung des Mondes an die Erde eine Verschiedenheit der Höhe der Fluthen statt, so nämlich, daß bei der Erdnähe des Mondes die Fluthen im Allgemeinen bedeutender sind als bei der Erdferne desselben. Auch die größere Nähe der Sonne wirkt zur Vergrößerung der Fluthen. Zur Zeit der Nachtgleichen sind die Springfluthen am größten, zur Zeit der Sonnenwenden am kleinsten, auf der nördlichen Halbkugel sind Morgens die Springfluthen im Winter größer im Sommer kleiner als Abends. Die größten Fluthen treten dann ein, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zusammenfällt.

Digitized by Google

Nach diesen Beobachtungen, aus denen sich ein Zusammenhang zwischen den verschiedenen Stellungen von Sonne, Erde und Mond unter einander mit Fluth und Ebbe ergibt, hat man nun der ganzen Erscheinung folgende, durch die demnach angestellte Berechnung bestätigte, Erklärung gegeben. Es ist gewiß, daß die Himmelskörper unter einander sich anziehen (s. d. Art. Gravitation), nehmen wir nun zunächst an, die Erde sei ein überall von Wasser bedeckter Körper, welche eine unveränderliche Stellung gegen den Mond einnehme. Diese Stellung hätte sich ein für allemal dadurch bestimmt, daß der Mond gegen die Erde eine gewisse Anziehung ausübe. Ursprünglich sei die Gestalt der Erde kugelförmig gewesen; so ist gewiß, daß der Mittelpunkt der Erde schwächer vom Monde angezogen wird, als der dem Monde zunächst liegende Theil der Erde, und stärker als der von dem Monde am entferntesten liegende Theil derselben. Gemäß dem Grade, in dem auf der einen Seite die Erde stärker, auf der anderen Seite schwächer als ihr Mittelpunkt vom Monde angezogen wird, wird sich ihre Oberfläche nun auch, wenn sie flüssig ist, aus der Kugelgestalt heraus begeben, und auf der einen Seite dem Monde sich verhältnißmäßig mehr nähern, auf der andern Seite verhältnißmäßig ferner von demselben bleiben. Nehmen wir an, a (Fig. 1.) sei der Mittelpunkt des Mondes, c der Mittelpunkt der Erde, so würde die ursprüngliche Gestalt der Erde kugelförmig wie d m e n sein, da aber die Anziehung des Mondes auf sie wirkt, so wird sie in der That die Gestalt f h g k annehmen, wie sie sich nämlich nach f und g ausdehnt, muß sie sich, da ihre Masse unveränderlich dieselbe bleibt, nach h und k zu zusammenziehen. Es wird folglich bei f und g Anschwellung des die Oberfläche der Erde bedeckenden Wassers, oder Fluth stattfinden, während bei d und e ein Zurücktreten von der ursprünglichen Oberfläche des Wassers, Ebbe, eintritt. Nun aber steht die Erde nicht still, sondern bewegt sich, folglich werden die Punkte f und g wo volle Fluth ist, und eben so die Punkte h und g wo tiefste Ebbe ist, nicht fortwährend dieselben bleiben, sondern sich um die Erde bewegen, die Punkte g und f d. h. die Punkte hoher Fluth werden auf diejenigen Punkte der Erde fallen, durch deren Meridian eben der Mond geht (auf der einen oder der anderen Seite der Erde). So wäre zunächst erklärt warum im Verlauf eines Tages 2 Fluthen und 2 Ebben eintreten, und welch ein Zusammenhang zwischen der Stellung des Mondes zur Erde und der Fluth und Ebbe stattfinden. Aehnlich wie der Mond wird nun aber auch die Sonne auf die Erde wirken, aber obschon an sich die Anziehung der Sonne größer als die des Mondes ist, wird die Wirkung der Sonne auf Fluth und Ebbe doch schwächer sein als der Einfluß des Mondes, weil gegen die große Entfernung der Sonne von der Erde, der Durchmesser der Erde eine sehr unbedeutende Größe ist, also der Unterschied der Anziehung gegen die Oberfläche und der Anziehung gegen den Mittelpunkt der Erde nur gering sein wird. Doch aber ist dieser Unterschied hinreichend um, wenn die Anziehung der Sonne der des Mondes zu Hilfe kommt, die Fluth zu verstärken, und dagegen, wenn Sonne und Mond im entgegengesetzten Sinne wirken, die Fluth zu schwächen. Ist die Stellung der drei

Digitized by Google

Himmelskörper so wie Fig. 2. sie zeigt, (und wie sie zur Zeit des Neumondes stattfindet), wo s die Sonne, m den Mond, e die Erde vorstellen mag, so wird offenbar die Fluth größer sein, weil Sonne und Mond zusammen gegen die Erde wirken. Dasselbe wird der Fall sein, wenn der Mond bei m′ steht (wie zur Zeit des Vollmondes der Fall ist), weil jede höhere Fluth auf der einen Seite der Erde auch eine höhere Fluth auf der anderen Seite derselben zu Folge hat. Der Mond verstärkt die Fluth auf beiden Seiten und eben so auch die Sonne, es wird also im Ganzen die Fluth bei solcher Stellung der Gestirne durch den Einfluß des Mondes sowohl als der Sonne verstärkt werden. Hat dagegen der Mond eine der Stellungen m″, so sucht er eine Fluth nach d und f zu bewirken, während die Sonne in s eine Fluth nach a und b zu bewirken strebt, der Einfluß beider Gestirne wirkt also nicht zusammen, es entsteht eine Fluth die zwischen b und d und eben so zwischen a und f ihre größte Höhe hat, welche aber geringer ist als wenn Sonne und Mond mit ihrer Anziehung einander zu Hilfe kämen. Während die Sonne allein bei b Fluth, bei d Ebbe bewirken würde, würde der Mond allein bei d Fluth, bei b Ebbe hervorbringen, es fällt demnach Sonnenfluth und Mondebbe, so wie Sonnenebbe und Mondfluth zusammen, welches eine Schwächung der Fluth nothwendig zur Folge hat. Hieraus ergibt sich wie bei den Syzygien (Neumonden und Vollmonden) Springfluthen, bei den Quadraturen dagegen Nippfluthen stattfinden. Die Ableitung der Fluth und Ebbe aus der Anziehung des Mondes und der Sonne zeigt nun auch mit Leichtigkeit den Grund an, warum die Erdnähe des Mondes, und der Sonne zu Verstärkung der Fluthen beitrage, indem die Anziehung eines näheren Körpers stärker als die eines entfernteren von gleicher Masse ist. Bei der ganzen Erklärung der Naturerscheinung (welche von Newton herrührt) wurde vorausgesetzt, daß die Erde ein überall von Wasser umgebener Körper sei; der Umstand, daß dieses in der That nicht der Fall ist, vielmehr Land und Meer sehr unregelmäßig auf der Oberfläche der Erde vertheilt sind, enthält die Erklärung, warum es nothwendig ist, daß eine große Ungleichförmigkeit der Erscheinung der Ebbe und Fluth, gemäß der mannigfaltigen Untereinanderwürfelung von Meer und Land stattfinden muß, daß endlich nur bei großen Meeren die ganze Erscheinung eintreten könne, wo ein Anhäufen des Wassers gleichzeitig mit einem Zurücktreten desselben anderwärts zusammentreffen kann.

Die Umdrehung der Erde von Westen nach Osten bringt es mit sich, daß auf dem offenen Meere das Wasser von Osten her anschwillt, und gegen Westen zu wieder abläuft, in der Nähe der Küsten haben aber auch auf diese Richtung Strömungen im Meere, Winde, einmündende Flüsse, Lage der Küsten gegen einander wie auf Geschwindigkeit und Größe des Zu- und Abströmens so auch auf die Richtung einen großen Einfluß. Zwischen den Orkney-Inseln und den schetländischen Inseln fließt das Wasser von Nordwest zu und nach Südost ab, in der Davisstraße kommt es von Süd und fließt nach Nord ab; die mittlere Geschwindigkeit des Zu- und Abflusses wird in offener See zu 2 F. angenommen.

Digitized by Google

Besondere Modificationen kann die Fluth und Ebbe in Kanälen, welche große Meere mit einander verbinden, erleiden, in Häfen und kleineren Meeren, die mit dem Ozean in Verbindung stehen. Die letzteren erhalten die Fluth nur durch Einströmen des Wassers aus den größeren Meeren, und es ist dann ein Fortschreiten der Fluth zu bemerken. In die Nordsee tritt die Fluth (nach Woltmanns Bemerkung) theils vom nördlichen Schottland her, theils durch den Canal ein, und eben die Fluth, welche um 12 Uhr in Buchaneß (an der nordöstlichen Seite Schottlands) hohes Wasser macht, bringt vor dem Humber 6 Stunden später, bei Yarmouth 9½ Stunden später, vor der Themse und so auch an den holländischen und deutschen Küsten 12 Stunden später Hochwasser; an den letzten Orten vereinigt sich damit die durch den Kanal kommende Fluth, die (wenn man eben die Tage nimmt) bei Brest um 3¾ Uhr, bei Havre um 9 Uhr, bei Ostende um 12 Uhr höchstes Wasser macht und hier mit jener zusammentrifft. Vereinigen sich Stürme mit Fluthen, die ohnedieß wegen der Stellung der Gestirne, Sonne und Mond eine ungewöhnliche Höhe erreichen würden, so können diese Sturmfluthen oft unermeßlichen Schaden anrichten, wie z. B. den 1. u. 2. Februar 1825. an den Küsten des nördlichen Deutschlands der Fall war. In diesen Tagen fielen der Vollmond, (den 3. Febr.), die Erdnähe und beinahe auch der südliche Durchgang des Mondes durch den Aequator (d. 5. Febr.) nahe zusammen. Außerdem fand am 3. Febr. auch die Zusammenkunft des Mondes mit dem Jupiter statt, welches (wie Sommer bemerkt) auch nicht ohne Einfluß war. Der Sturm trieb die durch die angeführten Umstände ohnedem ungewöhnlich hohe Fluth so empor, daß dieselbe die höchsten Dämme überstieg oder beschädigte, ja zerstörte und die deutsche und niederländische Nordseeküste weithin überschwemmte und verheerte.

Bei Erdbeben findet häufig eine ganz ungewöhnliche Ebbe und Fluth statt, indem das Wasser des Meeres oft erst große Strecken zurücktritt, und dann mit ungeheurer Gewalt zurückströmt und Verheerungen anrichtet. Die Wirkungen solcher ungewöhnlichen Schwankungen des Meeres werden dann zuweilen sehr weit empfunden. So zog sich bei dem großen Erbbeben zu Lissabon 1755 am 1. November das Meer erst weit zurück, sogleich aber stürzte eine 50 F. hohe Woge heran. An demselben Tage wurden entsetzliche Schwankungen der Meere an den englischen und holländischen Küsten, ja sogar an den Küsten Amerikas wahrgenommen.

Es ist gleich zu Anfange des Artikels bemerkt worden, daß die Erscheinung der Ebbe und Fluth auch in großen Flüssen wahrgenommen werde. Man bemerkt hier aber dieses Phänomen nur von der Mündung ab auf eine meist nur geringe Strecke im Verhältniß zur ganzen Länge des Stromes. Je weniger Fall die Flüsse nach der Mündung zu haben, desto weiter und bedeutender erstreckt sich die Fluth in sie hinein; so wird z. B. erzählt, daß der Amazonenfluß noch 200 französische Meilen von seiner Mündung ab bemerklich Ebbe und Fluth habe. Um bis Rouen hinaufzusteigen braucht in der Seine die Fluth 16 Stunden, bis London in der Themse 3 Stunden. Durch die Fluth im Meere wird nämlich der freie Abfluß des Stromes

Digitized by Google

in das Meer gehindert, welches ein Anschwellen desselben zur Folge hat; so theilt sich ihm die Fluth des Meeres mit, und zwar wird das Anschwellen des Flusses zuerst bei seiner Mündung, und später erst weiter hinauf bemerklich; es geht endlich in ein bloßes Aufstauen des Ebbestromes über. Sowie im Meere die Ebbe eintritt, theilt sie sich auch nach und nach der ganzen Strecke des Flusses mit, an der vorher ein Anschwellen bemerkt wurde; und es kann wegen dieser allmähligen Mittheilung der Fluth und Ebbe an den Fluß vom Meere aus, in dem letzteren schon wieder Ebbe eingetreten sein, während oberwärts im Flusse noch Fluth ist. Bei sehr heftigen Fluthen im Meere kann ein Fluß so aufgehalten werden; daß er über seine gewöhnlichen Ufer weit hin übertritt und das umliegende Land überschwemmt.

Die besonderen örtlichen Beschaffenheiten gestalten in den Flüssen die Fluth zu den merkwürdigsten Erscheinungen. Brandes führt die Leakies im Flusse Forth an. Hier ist nach Wrights Erzählung zwischen Queens-Ferry (7 engl. Meilen oberhalb Leith) und einem Orte, den er the house of Manor nennt, eine solche Krümmung, daß man auf dem Strome 25 engl. Meilen, dagegen auf geradem Wege nur 4 engl. Meilen hat. In dieser Gegend wird die Fluth einige Zeit durch ein Sinken des Wassers und die Ebbe durch ein Steigen des Wassers unterbrochen, und nachher geht in jenem Falle die Fluth, in diesem die Ebbe weiter fort. Diese Erscheinung fängt gewöhnlich bei Queens-Ferry an, aber erst an einem höheren Punkte, wenn der Strom viel Wasser hat oder Springfluthen sind; dagegen erstreckt sie sich bei höherem Stromwasser oder Springfluthen höher hinauf bis oberhalb Stirling. Brandes meint, die Erscheinung müsse wohl darin ihren Grund haben, daß die Fluthwelle sich zertheilt in der Krümme vorwärts stürzt, was sich vielleicht durch die Zurückwerfung von den Ufern erklärt.

Eben so merkwürdig ist die Mascara oder der Mascaret in der Dordogne, welche bei jeder Fluth in der Dordogne eintritt, sobald niedriger Wasserstand ist. Derselbe ist eine bald nur wie eine Tonne, bald wie ein kleines Haus hohe Wassermasse, die sich ohnweit des Einflusses der Dordogne in die Garonne bildet, und mit einer großen Geschwindigkeit und Stärke längs dem Ufer unter lautem Getöse am Ufer des Flusses hinaufwälzt. Sie kann Schiffe zerbrechen und versenken, steinerne Einbaue zertrümmern. An einigen Orten zertheilt sich der Mascaret in Wellen, weiterhin bildet er wiederum Eine Wassermasse. Der Grund dieser Erscheinung ist darin zu suchen, daß die Fluth aus dem Meere sich in die Gironde ergießt, von da in die breite Garonne, während jedoch diese schief dem Strome der Fluth sich entgegenstellt und von bedeutender Breite ist, stellt sich die enge Dordogne demselben in gerader Richtung entgegen, die Fluth ist also genöthigt hochanzuschwellen, und stürzt mit desto größerer Gewalt in den Strom ein, je weniger Wasser derselbe führt und ihr entgegenbringt. Bei der Severn bringen ähnliche Umstände eine ähnliche Erscheinung hervor. Die bis auf 45 Fuß anschwellenden Springfluthen wälzen sich zu einem Damme von 9 Fuß Höhe aufgethürmt den Fluß hinauf.

Noch großartiger ist eine ähnliche Erscheinung der Springfluthen an

Digitized by Google

der Mündung des Amazonenstromes beim Nordkap und an der südwestlich davon ins Meer sich ergießenden Para. In drei Viertelstunden erhebt sich hier das Wasser zu einer Höhe, die größer als diejenige ist, welche es sonst bei gewöhnlichen Fluthen in 6 bis 7 Stunden erreicht. Besonders zwischen dem Nordkap und der Schanze Macapa hört man vor dem Eintritte der Fluth ein furchtbares Getöse, das der noch ein bis zwei Seemeilen entfernten Fluth vorausgeht. Das Tosen nimmt schnell zu und bald sieht man ein 12 bis 15 Fuß hohes langausgedehntes Wassergebirge heranstürzen, dem ein zweites, drittes und viertes folgt. Es kann gewaltige Verheerungen anrichten. Das Gestade, auf welches die Fluth losbricht, wird von derselben überall so rein, als wenn es sorgsam gefegt worden wäre. Die ganze Erscheinung wird von den Wilden am Amazonenstrome Pororoka genannt. Der Bore am Ganges, der 20 Fuß in der Secunde zurücklegt, ist eine entsprechende Erscheinung.

Ebene oder gerade Fläche heißt jede Fläche, in der sich von jedem Punkte aus nach jeder Richtung gerade Linien ziehen lassen. Auf dieser mathematischen Definition der Ebene beruhen diejenigen Begriffe, die man in den physischen Wissenschaften mit der Ebene verbindet. Für sich allein, selbstständig, kommen in der Natur Flächen überhaupt also auch Ebenen nicht vor; sie finden sich nur an Körpern, indem sie zu Begrenzung derselben beitragen, und in dieser Rücksicht Oberflächen, Seitenflächen, Grundflächen heißen. Da in der Natur alle Oberflächen ꝛc. der Körper mehr oder weniger mit Erhöhungen (Unebenheiten) versehen sind, so pflegt man diejenigen Flächen, welche nur geringe derartige Unebenheiten zeigen, deren Höhe gegen die Ausdehnung der ganzen Fläche als verschwindend klein erscheint, Ebenen zu nennen, und in der physischen Geographie, wo die Ebenen den Berggegenden entgegengesetzt werden, nennt man wiederum nur diejenigen mit geringen Unebenheiten versehenen Flächen (Theile der Oberfläche der Erde) Ebenen, welche horizontal sind, d. h. auf denen das Loth (die Fallinie) überall senkrecht steht.

Die Oberfläche des Meeres, der Meeresspiegel, ist, wenn man von der größeren oder geringeren Erhebung der Wellen absieht, die vollkommenste physische Ebene. Unter die Ebenen auf dem Festlande gehören vorzüglich die Sandwüsten, die Llanos in Südamerika und die Steppen und Haiden. Die meisten dieser Ebenen scheinen früher Meeresgrund gewesen zu sein, wie der Sand und Kies, mit dem sie überzogen sind, vermuthen läßt, der nur selten mit fruchtbarer Dammerde bedeckt ist. In Europa gehören hierher die weitausgedehnten Haiden, welche ihren Namen von den auf ihnen wachsenden Haidearten haben. Zu den bedeutendsten gehört diejenige Haide, welche von der Grenze Jütlands durch Lüneburg und Westphalen bis in die Niederlande sich erstreckt. Der Boden ist meist sandig und unfruchtbar, an einigen Stellen mit Kieferwaldung bedeckt, an anderen sumpfig mit bedeutenden Torflagern. Eben so bedeutend sind die Viehweiden in Ungarn zwischen der Donau und Theiß, welche sich 30 bis 40 Toisen über den Meeresspiegel erheben. Im südlichen Rußland finden sich

Digitized by Google

große Ebenen, die Steppen zwischen dem Dnepr, dem Don und der Wolga, bis nach der Ukraine und Polen reichend. Im nördlichen Asien, in Sibirien sind weitausgedehnte Steppen, die fast gänzlich von Einwohnern entblößt sind. Weiter nach Süden liegt die große Wüste Gobi zwischen China, Daurien und Sibirien von Osten nach Westen sich erstreckend, und aus zwei Theilen bestehend. Der östliche kleinere Theil liegt hoch, ist nirgends über 100 Stunden breit und mit grobem ganz unfruchtbaren Kiessande bedeckt, die Karavanenstraße zwischen Kiachta und Pecking hat eine Ausdehnung von 64 Stunden. Bei Tage herrscht starke Wärme, bei Nacht aber auch so bedeutende Kälte, daß sich die Brunnen mit einer Eisdecke überziehen. Der größere westliche Theil ist heißer, mit Flugsande bedeckt und nirgends weniger als 100 Stunden breit. Die Karavanenstraße von Kiachta nach Seleginsk, welche durch die besten Gegenden der Wüste geht, hat eine Länge von 450 Stunden. Zwischen der Hochebene von Decan, dem Ganges und dem Indus liegt die Wüste Sind, 80 Meilen breit und 100 Meilen lang, mit Flugsand bedeckt, der sich oft zu 20 bis 100 Fuß hohen Hügeln aufhäuft. Sie enthält indeß auch viele fruchtbare und angebaute Stellen, Oasen. In der Nähe von Bahawalpur ist fester Thonboden, eine Strecke von 20 Meilen Länge, wo sich kein Wasser und keine Vegetation findet. Die Wüste von Beludschistan ist mit einem rothen Flugsande bedeckt, der wellenförmig gelagert ist, und zur Mittagszeit von heißen Wirbelwinden aufgeregt wird. Am ausgebreitetsten sind die Sandwüsten von Afrika. Mitten in diesen ungeheuren Einöden finden sich äußerst fruchtbare, mit der üppigsten Vegetation geschmückte Landstrecken, die bekannten Oasen. Dieselben entstehen dadurch, daß sich das aus der Atmosphäre herabkommende Wasser ansammelt, Quellen und Bäche bildet, so einen Theil der Wüste unter Einfluß der großen Wärme jener Gegenden in fruchtbares Land verwandelt, und endlich wieder im Sande sich verliert. In einigen Gegenden sammelt sich das Wasser zur Regenzeit in so außerordentlicher Menge an, daß Seen und schiffbare Flüsse sich bilden, welche während der trockenen Jahreszeit wieder versiegen. Von Aegypten bis an die Nordwestküste Afrikas erstreckt sich die große Wüste Sahara zwischen dem 15° und 30° Nördl. Br. An der Westküste am atlantischen Weltmeere scheint sie sich in gewaltigen Sandbänken noch unter der Oberfläche des Wassers fortzusetzen. Die Flüsse, welche von den umliegenden Gebirgen herabkommen, haben wegen der fast durchgängig horizontalen Lage der Wüste nur ein sehr schwaches Gefälle, können sich unter einander zu einem größeren Strome nicht vereinigen, und verlieren sich in der tiefen Sandwüste und verdunsten. Der Flugsand wird in Gestalt von Nebeln vom Winde fortgetrieben, und wo derselbe fehlt, (hinweggeweht ist), kommen nackte Felsen meist von Kalkstein zum Vorschein, oder der Boden wird von Kiesel- oder Sandmassen (Sahel genannt) bedeckt. Auch auf die angrenzenden fruchtbaren Gebiete, z. B. Aegyptens, auf die Oasen wird der Flugsand vom Winde getrieben, so daß jetzt viele Gegenden zur Wüste geworden sind, wo ehemals eine üppige Vegetation fortgekommen ist. Dagegen mögen freilich auch hin und wieder auf die oben ange-

Digitized by Google

gebene Weise neue Oasen sich bilden. Die Ruinen der uralten Bauwerke Aegyptens sind auf jene Weise schon ganz oder zum Theil mit Sand bedeckt worden. Der östliche Theil der Sahara heißt die Lybische Wüste; sie grenzt westlich an Aegypten, hat mehrere Oasen und wird von zwei von Cairo ausgehenden Caravanenstraßen durchschnitten. Die eine geht über Murzuk und Fezzan, die andere über Darfur. Auf der letzteren müssen erst sechs, dann zwölf Tagereisen ohne daß Wasser gefunden wird, zurückgelegt werden. Fezzan, nach welchem die erste Straße über die Oase führt, auf welcher einst der Tempel des Jupiter Ammon lag, jetzt die Stadt Siwah sich befindet, — ist 166 Meilen von Kairo und 58 Meilen vom Meere durch die Wüste getrennt. Bei Fezzan beginnt die westliche Sahara, die nur wenige und häufig vom Flugsande wieder verwehte Oasen hat, welche deßwegen auch nicht bleibende Wohnstätten für Menschen werden können. Auch diese ungeheure und gefährlichste Wüste wird dennoch von Karavanen durchzogen. Die einzelnen Brunnen, welche die Stationen der Reise machen, werden mit den Knochen von Kameelen eingefaßt, und mit Kameelhäuten bedeckt, damit sie nicht vom Sande zugeschüttet werden, denn Steine zum Bau sind nicht vorhanden. Der Wind weht nun zwar oft mehr als Mann hoch Sand über diese Brunnen; dennoch wissen die Chabris (d. h. Weise, welche eigene Karavanenführer sind) dieselben wieder aufzufinden. Werden diese Brunnen indeß dennoch verschüttet oder nicht aufgefunden, so kommen häufig genug ganze Karavanen um, z. B. im Jahre 1805 eine von 2000 Menschen und 1800 Kameelen. Zwar wird auch in Schlauchen stets Wasser mitgenommen, aber die große Hitze trocknet dasselbe bald aus. Von Thieren kommen nur Antilopen und Strauße, von Vegetabilien nur Disteln, Mimosen und dürres Strauchwerk in der Wüste fort. Nicht einmal die Vögel wagen sich tief in die Wüste hinein, weil sie dort keine Nahrung finden und umkommen müssen; ihre Erscheinung gilt den Karavanen als ein Zeichen nahen Landes. — Auch in Amerika gibt es endlich sehr bedeutende Ebenen. Besonders merkwürdig sind die Llanos in Südamerika, welche sich am geringsten über die Oberfläche des Meeres erheben. Eigentliche Sandwüsten finden sich in Amerika nicht, mit Ausnahme einer langen aber schmalen Strecke zwischen Arnetope und Coquimbo in Peru. Die Llanos (spanisch, Ebene) von Varina, Caracas u. s. w. sind unendlich weit ausgedehnte Flächen, welche fast gar keine Neigung haben, so daß man dieselbe wenigstens mit bloßen Augen ohne Nivellirung gar nicht wahrnehmen kann. Das ganze ebene Land hat ungefähr eine Ausdehnung von 8000 Quadratmeilen. Die Flüsse, welche diese Gegenden durchschneiden, haben nur ein sehr geringes Gefälle. An den Flüssen zur Regenzeit und kurz nach derselben findet man eine reiche Vegetation, aber allmählig werden die Bäume in der heißen Jahreszeit ganz dürr, und die Landschaft ist gänzlich ausgestorben. Aehnlich sind die Pampas in Buenos Ayres und Chaco. Während der Regenzeit schwellen die Flüsse an und das Wasser sammelt sich, da es einen nur sehr geringen Abfluß hat, zu großen Seen, die aber nachher wieder verdunsten. So hat der See de las Xarayes zur Regenzeit oft eine Länge von 110 und

Digitized by Google

eine Breite von 40 Lieues, vertrocknet aber in heißen Sommern gänzlich. Die Ufer des Amazonenflusses, Bosques oder Selvas genannt, sind ebenfalls bedeutende Ebenen, die nur von niedrigen Hügeln unterbrochen und mit Wald bewachsen sind. Von 17° Südl. Breite bis gegen 8° N. Br. reicht so eine große Ebene, welche im Ganzen 60000 Quadratmeilen beträgt.

In einem weiteren Sinne als in der physischen Geographie ist in der Mechanik von Ebenen die Rede. Bei der theoretischen Betrachtung in der Mechanik wird vorausgesetzt, daß jede Ebene eine mathematisch genaue Ebene sei, d. h. in ihrer Oberfläche keine Erhebungen (Unebenheiten) habe, und daß dieselbe einem auf ihr ruhenden Körper eine durchaus feste, nicht eindrückbare Unterlage darbiete, denn durch jede Einsenkung würde dieselbe aufhören eine Ebene zu sein. Eine Ebene, welche mit einem auf beiden Seiten ganz gleich belasteten Wagebalken parallell ist, heißt eine wagerechte Ebene, oder eine horizontale Ebene. Die letztere Benennung hat im Folgenden ihren Grund. Jeder nur vermöge seiner Schwere nach der Erde herabfallende Körper beschreibt eine gerade Linie, welche verlängert durch den Mittelpunkt der Erde geht; befinden wir uns nun an denselben Punkte, an welchem der fallende Körper die Oberfläche der Erde berührt, und denken wir uns eine Ebene durch den genannten Punkt so gelegt, daß die Richtungslinie des Falles senkrecht auf derselben steht, so schneidet diese Ebene in der scheinbaren Himmelskugel den Horizont ab, und heißt deßwegen die Horizontalebene, und es ist dieselbe Ebene parallel mit einem auf beiden Seiten gleichbelasteten Wagebalken. Ein auf der Horizontalebene ruhender Körper drückt vermöge seiner Schwere senkrecht gegen dieselbe, welchem Drucke die Ebene einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzt, daher kein Fallen desselben möglich ist. Alle Kräfte, welche wie die Schwere auf den Körper senkrecht gegen die Ebene wirken, werden ebenso durch die Ebene aufgehoben, so daß sie keine Bewegung des Körpers hervorzubringen im Stande sind. Jede Kraft, welche nicht senkrecht gegen die Ebene auf den Körper wirkt, läßt sich in zwei Kräfte *) zerlegen, von denen die eine senkrecht gegen die Ebene auf den Körper wirkt, auf dessen Bewegung also ohne Einfluß bleibt, die andere dagegen den Körper in Bewegung setzt.

Jede Ebene dagegen, welche mit der Horizontalebene einen Winkel macht, dieselbe schneidet, heißt eine schiefe oder geneigte Ebene (auch schiefe Fläche). Angenommen z. B. (Fig. 3.) ONVU sei die Horizontalebene und ONMT sei eine Ebene, welche jene in der geraden Linie ON schneidet, so ist ONMT eine schiefe Ebene. Ist nun die Aufgabe: eine Last soll eine schiefe Ebene hinaufbewegt werden; so ist zunächst der Neigungswinkel zu berücksichtigen, welchen die schiefe Ebene gegen die Horizontalebene macht, und dann der Winkel, welchen die Richtung der Kraft mit der schiefen Ebene macht. Was den Neigungswinkel der beiden Ebenen betrifft, so findet man ihn bekanntlich wenn man in

*) Siehe Art. Bewegung. Bd. I. S. 289. ff.

der Ebene ONMT einen beliebigen Punkt A annimmt, und von demselben eine Senkrechte AB auf die Ebene ONVU fällt, hierauf von B in der Ebene ONVU auf die Linie NO eine Senkrechte fällt und von dem Fußpunkte C derselben eine gerade Linie nach A zieht: der Winkel ACB ist der Neigungswinkel der beiden Ebenen ONMT und ONVU. Die Richtung der Kraft kann entweder parallel der schiefen Ebene gehen, oder parallel der Horizontalebene, oder endlich unter irgend einem Winkel gegen die schiefe Ebene geneigt sein.

Gesetzt (Fig. 4.) CA liege in der schiefen Ebene, welche unter dem Neigungswinkel ACB gegen die Horizontalebene, in der CB liegt, geneigt ist, und Q sei eine Last, welche durch das Gewicht P vor dem Herabrollen auf der schiefen Ebene gehalten werden soll, und zwar soll die Richtung der Kraft, mit welcher das Gewicht P auf die Last Q wirkt, zuerst *parallel mit der schiefen Ebene* sein. Man kann sich dieses so vorstellen, daß das Gewicht P mit einer Schnur über eine Rolle bei A geht, so daß oN parallel CA ist. Die Frage ist: welches muß das Verhältniß zwischen P und Q d. h. zwischen Last und Kraft sein, damit die Last Q durch die Kraft P vor dem Herabgleiten oder Herabrollen auf der schiefen Ebene gehalten werde? — AC heißt die Länge der schiefen Ebene, AB die Höhe und BC die Basis derselben (vergl. Fig. 3.). Vermöge ihrer Schwere sucht die Last Q wie jeder schwere Körper senkrecht nach der Horizontalebene herabzufallen. Deuten wir die Größe dieser Kraft, mit welcher Q vermöge seiner Schwere herabgetrieben wird durch die Linie oc an, welche senkrecht auf der Horizontalebene und auf CB steht, so läßt sich dieselbe in zwei Kräfte on und om zerlegen, von denen die eine on senkrecht gegen die schiefe Ebene gerichtet ist, die andere om mit derselben parallel gerichtet ist. Durch den unüberwindlichen Widerstand, welchen eine Ebene einer senkrecht gegen sie gerichteten Kraft entgegengesetzt, wird offenbar die Wirkung der Kraft on aufgehoben, und es bleibt allein die Kraft om übrig, durch welche in Bewegung gesetzt Q von der schiefen Ebene herabgleiten würde, wenn nicht die Kraft P dieser durch om ausgedrückten Kraft entgegenwirkte, und zwar wird jene diese nur dann aufzuheben im Stande sein, wenn sie ihr gleich ist. Da nun oe die Kraft ausdrückte, durch welche Q durch seiner Schwere senkrecht auf die Horizontalebene herabgetrieben wird; so ergibt sich das Verhältniß

$$P : Q = om : oe$$

Das Dreieck omc ist ähnlich dem Dreiecke ABC, wie leicht einzusehen ist, denn der Winkel ome ist = ABC, weil beide Winkel rechte sind, und der Winkel moc ist = CAB, weil om parallel AC und oc parallel AB ist. Daraus folgt denn das Verhältniß

$$om : oe = AB : AC$$

und aus der Vergleichung dieses Verhältnisses mit dem obigen

$$P : Q = AB : AC$$

AB ist die Höhe der schiefen Fläche über der Grundfläche, AC die Länge der schiefen Fläche; es muß sich also (unter den oben angegebenen Bedingungen) *die Kraft P verhalten zur Last Q wie die Höhe der schiefen Fläche zur Länge derselben*. Ist also

Digitized by Google

z. B. die Höhe der schiefen Fläche halb so groß als die Länge derselben ($AB = \frac{1}{2} Ac$), so muß damit Last und Kraft im Gleichgewichte bleiben, oder, was dasselbe, damit Q nicht auf der schiefen Ebene herabgleitet, das Gewicht P halb so schwer sein als Q. Nehmen wir an, daß $AB = 0$ wird, d. h. daß die Ebene AC mit der horizontalen Ebene AB zusammenfällt, oder daß Q auf einer horizontalen Ebene liegt, so ergibt sich, daß auch $P = 0$ wird, d. h. daß kein Gewicht nöthig ist, sondern Q ohne durch eine Kraft gehalten zu werden, auf der Ebene CB ruhen bleibt: eine Bestätigung des oben S. 11 ausgesprochenen Satzes.

Wirkt aber zweitens übrigens unter denselben Voraussetzungen die Kraft P auf die Last Q (Fig. 5.) in einer der Horizontalebene parallelen Richtung; so wird sich das Verhältniß P: Q anders gestalten. Es bezeichne wiederum oe die Kraft der mit Q vermöge seiner Schwere senkrecht auf die Horizontalebene herabgetrieben wird, so können wir dieselbe nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte in die beiden Kräfte on und om zerlegen, von denen on senkrecht auf der schiefen Ebene steht, und om parallel der Horizontalebene ist. Durch den Widerstand der schiefen Ebene wird on unwirksam gemacht, und nur noch die Kraft om ist durch P aufzuheben, damit Q von P gehalten werde. Hieraus ergibt sich denn das Verhältniß

$$P : Q = om : oe$$

Die Seiten des Dreieckes ome stehen der Reihe nach senkrecht auf den Seiten des Dreieckes ABC, folglich sind die Dreiecke ähnlich, und geben das Verhältniß

$$om : oe = AB : BC$$

welches mit dem obigen Verhältnisse verglichen

$$P : Q = AB : BC$$

gibt, d. h. es muß sich die Kraft P verhalten zur Last Q, wie sich die Höhe der schiefen Ebene über der Horizontalebene zur Basis derselben verhält.

Der dritte zu beachtende Fall ist nun der, wo unter übrigens denselben Verhältnissen die Richtung der Kraft P mit der schiefen Ebene einen beliebigen Winkel uwA (Fig. 6.) macht. ou bezeichne die Richtung der Kraft P und uwA also den Zugwinkel. Stellt oe wieder die Kraft vor, welche Q vermöge seiner Schwere senkrecht auf BC herabtreibt, und ist diese Kraft in on, senkrecht auf AC, und ow zerlegt, so wird on unwirksam gemacht durch den Widerstand der schiefen Ebene, und es bleibt allein om übrig, der durch C entgegengewirkt werden muß. Wieder ergibt sich das Verhältniß

$$(1)\ P : Q = om : oe$$

Ziehen wir nun noch or parallel AC und verlängern em; so ist or diejenige Kraft, welche von einer (im ersten Falle betrachteten) parallel der schiefen Ebene wirkenden Kraft aufgehoben werden muß, damit Q vermöge seiner Schwere auf der schiefen Ebene nicht herabgleitet. Es verhält sich folglich, wenn wir eine solche parallel wirkende Kraft P′ nennen:

$$(2)\ P : P' = om : or$$

nach dem Obigen aber $P' : Q = AB : AC$

Digitized by Google

folglich ist $P' = \frac{Q.AB}{AC}$ Da nun ferner die Dreiecke omr und wol ähnlich sind (denn beide sind rechtwinklig bei r und l, or ist parallel AC folglich Winke erom = owl) so verhält sich

$$om : or = ow : wl$$

dieses Verhältniß und der Werth von P′ in Proportion (2) hineingesetzt gibt

$$P : \frac{Q.AB}{AC} = ow : wl$$

d. h. $P = \frac{Q.AB.ow}{AC.wl}$ und hieraus

$$(3)\ P : Q = \frac{AB}{AC} : \frac{wl}{ow}$$

Nun sieht man leicht, daß $\frac{AB}{AC}$ eine vom Winkel C abhängige Größe ist, denn mit AC wächst oder nimmt ab auf entsprechende Weise AB, weil die Bedingung besteht, daß beide auf einander senkrecht stehen müssen. Hätte z. B. AC nur die Länge A′C, so würde aus AB werden A′B und $\frac{AB}{AC}$ würde $\frac{A'B}{A'C}$, es ist aber AB : AC = A′B : A′C d. h. $\frac{AB}{AC} = \frac{A'C}{A'B}$. Ganz auf ähnliche Weise ist $\frac{wl}{wo}$ eine ganz von Winkel owl im rechtwinkeligen Dreiecke owl abhängige Größe. $\frac{AB}{AC}$ ist die eine Kathete dividirt durch die Hypotenuse im rechtwinkligen Dreiecke, dessen jener Kathete gegenüberstehender Winkel C der Neigungswinkel der schiefen Ebene gegen die Horizontalebene ist, — man bezeichnet diese Größe durch sinus C; $\frac{wl}{wo}$ ist die eine Kathete dividirt durch die Hypotenuse im rechtwinkligen Dreieck, dessen jener Kathete anliegende Winkel der Winkel ist, welchen die Richtung der Kraft P mit AC macht, — man bezeichnet diese Größe durch cosinus uwA, und die Proportion (3) heißt hiernach

$$P : Q = \text{sinus } C : \text{cosinus } uwA$$

Die Kraft P verhält sich zur Last Q, wie der sinus des Neigungswinkels beider Flächen zum cosinus des Zugwinkels, welchen die Richtung der Kraft P mit der schiefen Ebene macht.

Die hier bewiesenen Sätze leiden eine sehr vielfache Anwendung in der Mechanik, sie dienen nämlich zur Berechnung der Kraft, welche angewendet werden muß, um eine Last eine geneigte Ebene hinaufzuschaffen, z. B. einen Berg, eine künstlich angelegte Bahn etwa zu Hinaufschaffung von Baumaterialien in die oberen Stockwerke von Gebäuden u. s. w. Der erste der genannten Fälle kommt namentlich beim Fahren auf Bergen vor, indem hier die Kraft der schiefen Ebene parallel wirkt. Bei der praktischen Anwendung wird indeß überall auf die

Digitized by Google

hier außer Acht gelassenen Reibung der Last auf der schiefen Ebene Rücksicht zu nehmen sein.

Endlich finden auch noch einige physikalische Spielereien ihre Erklärung in den Sätzen von der schiefen Ebene. Hierher gehören der berganlaufende Cylinder und der berganlaufende Kegel. Der erstere besteht aus einem hohlen Cylinder von Holz oder Pappe, in den inwendig nach der Seitenwand zu ein schwerer Körper befestigt ist. Wird dieser Cylinder auf eine schiefe Ebene so gelegt, daß der Schwerpunkt desselben, welcher natürlich hier nicht in seine Axe fällt, nach der Erhöhung der schiefen Ebene zu liegen kommt, so rollt er die Ebene aufwärts. Der berganlaufende Kegel ist ein doppelter Kegel von Holz, oder zwei gleiche Kegel, die mit ihren Grundflächen auf einander stehen. Zwei auf der einen Seite verbundene Leisten sind so aufgestellt, daß ihre beiden nicht verbundenen Enden höher als die verbundenen liegen, also jede Leiste eine schiefe Ebene bildet. Die Entfernung der beiden äußersten Enden der Leisten von einander ist gleich der Axe (Entfernung der beiden Spitzen von einander) des Doppelkegels, und der Unterschied der Höhe der beiden äußersten Enden gegen die verbundenen Enden ist kleiner als die Hälfte der größten Dicke des Doppelkegels. Der Kegel wird mit seiner mittlern Kante zwischen die Leisten gelegt und rollt dann an diesen hinauf.

Eine andere Spielerei, die noch hierher gerechnet werden kann, ist die sogenannte Fig. 7. abgebildete Queckſilberuhr. Das Gestell ABCDEF besteht aus vier einzelnen Stäben, von denen BF und CE senkrecht auf der horizontalen Ebene ABCD aufstehen, DE und AF aber gegen dieselbe geneigt und mit einander parallel sind. G ist ein Rad, welches aus einzelnen gläsernen hohlen Kugeln zusammengesetzt ist, die unter einander durch enge Mündungen verbunden sind: etwa 2 dieser Kugeln m und n sind mit Queckſilber gefüllt, welches durch die Mündungen allmählig aus einer Kugel in die andere überläuft, so lange es durch seine Schwere in Bewegung gesetzt wird. Der aus den Kugeln gebildete Kranz ist durch drei leichte Speichen aus Fischbein oder Rohr mit der walzenförmigen Axe a in Verbindung gesetzt und an dieselbe befestigt. Um die Enden der Axe a sind auf beiden Seiten Fäden gewickelt, welche bei E und F befestigt sind. Wäre nun nicht, wie in der Figur, in den beiden Kugeln m und n Queckſilber, so würde der Schwerpunkt des ganzen Rades in die Mitte der Axe desselben fallen, es würden sich die Fäden abwickeln und das Rad an den geneigten Stäben AF und DE herabrollen. Durch das Queckſilber in m und n wird aber der innern Seite ein solches Gegengewicht gegen den außenliegenden Theil des Radkranzes gegeben, daß sich die Fäden von der Axe a nicht abwickeln können. Erst wenn das Queckſilber aus m und n allmählig in die tiefer liegenden Kugeln abfließt, wickeln sich entsprechend auch die Fäden von der Axe ab und das Rad sinkt weiter und weiter herab. Dieses Herabsinken geschieht desto langsamer, je enger die Mündungen der Kugeln in einander sind, und mit desto größerer Gleichmäßigkeit der Bewegung, je gleichmäßiger weit diese Mündungen sind, so daß man die ganze Vorrich-

Digitized by Google

tung ähnlich wie die einer Sanduhr zu Abmessung und Eintheilung der Zeit benutzen kann.

Schon seit längerer Zeit hat man in England eine großartige Anwendung schiefer Ebenen gemacht, ich meine die sogenannte self acting planes d. h. selbstwirkenden schiefen Ebenen. Sie sind in sehr großer Anzahl vorhanden, und bestehen im Allgemeinen aus Eisenbahnen, welche eine schiefe Ebene herabgehen, und auf denen fortwährend beladene Wagen herabgehen und unbeladene Wagen heraufgehen, indem diese von jenen gezogen werden.

Eine solche ist die bei Leeds in Yorkshire auf der Eisenbahn, die von dem Middleton Kohlenwerke kommt, angelegte selbstwirkende schiefe Ebene. Vier Wagen, von welchen ein jeder mit 53 Ctr. Kohlen beladen ist, ziehen beim Herablaufen über die schiefe Ebene 4 andere leere Wagen herauf: zu diesem Behufe hängen dieselben mittelst eines Seiles zusammen, welches um ein auf der Höhe stehendes wagerechtes Rad von 16 Fuß Durchmesser geschlungen ist. Es liegt in der Natur der Sache, daß auf diese Weise nur Lasten herab, keine (außer den leeren Wagen) heraufgeschafft werden können, weil die hinabgehende Last immer schwerer sein muß als die hinaufkommende. Sollen daher beladene Wagen herauf und leere hinabgeschafft werden, so ist während das Gewicht der Wagen sich gegenseitig ausgleicht, noch eine Kraft nöthig die Ladung der Wagen zu ziehen. Man versieht zu diesem Zwecke ähnliche schiefe Ebenen mit Dampfmaschinen, Wasserrädern oder Pferdegöpeln. So findet sich bei Maria Zell in Steiermark ein Holzaufzug, wo durch die Kraft eines mittelschlächtigen Wasserrades mit 5 Fuß Gefälle täglich mit 11 Arbeitsstunden 37 bis 40 Klaftern Holz, die zusammen 8 Ctr. wiegen, über eine schiefe Ebene (Holzbahn), deren senkrechte Höhe 40 N. Oestr. Klaftern beträgt, hinaufgezogen werden. Thompson hat die Methode herabgehende Wagen zum Aufziehen anderer beladener auf schiefen Ebenen zu verwenden auf alle Fälle ausgedehnt und 1821 ein Patent auf dieses sein sogenanntes reciprocating system (Wechselwirkungs-System) erhalten. So sehr es übrigens auf den ersten Blick den Anschein hat, als gewähre die Fahrt in angeführeter Weise auf selbstwirkenden Ebenen den größten Vortheil, ja als erspare sie wenigstens in dem ersten der angeführten Fälle alle Frachtkosten, so ergibt doch eine genauere Ansicht der auch hier nöthigen Kosten, daß der Gewinn an Frachtkosten keineswegs so außerordentlich bedeutend sei. In Gerstners Mechanik sind nach Woods Mittheilungen Kostenberechnungen der verschiedenartigsten selbstwirkenden Ebenen gegeben, die das Gesagte bestätigen. Wir führen nur, um eine Vorstellung der hier vorkommenden Kosten zu geben, ein Beispiel an.

Die selbstwirkende schiefe Ebene bei dem Kohlenwerke zu Killingworth, Länge 715 yards, Fall 57 Fuß 3 Zoll oder 1:37,5, vollkommen gerade Bahn. Das Seil wurde gelegt am 1. März 1822, abgenommen am 18. Juli 1823, und damit verführt 55977 Chaldrons; ein neues Seil wurde gelegt am 18. Juli 1823, abgenommen den 27. Nov. 1824, und damit verführt 59839 Chaldrons; zusammen also 115816 Chaldrons. Demnach wurden mit ei-

Digitized by Google

nem Seile im Durchschnitte 57908 Chaldrons zu 53 Ctr. = 153456 Tonnen auf 715 yards Weite oder 62342 Tonnen eine Meile weit geführt, welches folgende Kosten verursachte:

	Liv. st.	sh.	d.
1. Das Seil v. 5 Z. Umf., 800 yards Länge, 25 Ctr. 19 Pf. Gew., der Ctr. zu 52 sh.	65	— 8 —	10
2. Zwei Perf. zur Aufsicht, jeder 2 sh. 6 d. täglich für 300 Tage jährlich und bei der Abnahme von 45000 Chaldrons jährlich, macht für 15 Mon.	93	— 15 —	0
3. Schmiere, Oel ꝛc. für die Seilleitungsrollen.	3	— 0 —	0
4. Die ursprüngl. Kosten der Maschinerie waren 200 Liv. st., wovon 4 pr. C. Zinsen für 15 Monate.	10	— 0 —	0
Zusammen	172	— 3 —	10

Dieß gibt für das oben angeführte Frachtquantum $\frac{2}{3}$ d. für die Tonne und die Meile.

In Berggegenden werden häufig schiefe Ebenen angelegt, um das auf den Bergen gefällte Holz auf ihnen herabrutschen zu lassen. Eine der großartigsten derartigen Vorrichtungen ist die, welche J. Rupp 1816 anlegte, um das Holz vom Pilatusberge in der Schweiz darauf herabgleiten zu lassen. „Dieselbe lief bald gerade, bald in Windungen unter einem Winkel von 10° bis 18° stellenweise unter der Erde, sonst aber im Allgemeinen auf Böcken von 10 bis 120 F. Höhe, eine Strecke von drei Stunden herab, war aus geschälten Tannen muldenförmig zusammengesetzt, und hatte eine Breite von 6 Fuß bei einer Tiefe von 3 bis 6 Fuß. Im Ganzen wurde sie durch 2000 Joche getragen, die gegen 10 Fuß von einander abstanden, und deren Befestigung oft mit unglaublichen Schwierigkeiten verbunden war. Es wurden 25000 Stämme Holz dazu verwandt, welche ohne alles Eisen künstlich zusammengesetzt waren, der Bau beschäftigte im Mittel 160 Menschen 1,5 Jahre und kostete über 100000 Gulden. Nachdem das Werk aller unübersteiglich scheinenden Hindernisse ungeachtet endlich vollendet war, glitten die großen, 100 F. langen und am dünnsten Ende noch 10 Z. dicken Tannen mit solcher Schnelligkeit darauf herab, daß sie den Weg von drei Stunden in nicht mehr als dritthalb Minuten zurücklegten, und den unten stehenden Beobachtern nicht länger als einige Fuß zu sein schienen. Der Sicherheit wegen hatte der Mittelbaum in seiner ganzen Länge eine Rinne, in welche durch angebrachte Zubringer von vielen Stellen stets Wasser herablief und das Holz benetzte. Zur Erhaltung der Ordnung waren an der ganzen Strecke Arbeiter angestellt, wovon der unterste rief: Laß laufen, dieser Ruf kam etwa in drei Minuten vermittelst der zwischenstehenden Arbeiter oben an, ein Baum wurde losgelassen mit dem Rufe, Er kommt, und so glitt alle 5 bis 6 Minuten ein Baum herab, wenn nicht etwas an der Leitung verdorben war, was sofort ausgebessert wurde. Um die Kraft des anprallenden Holzes zu zeigen, ließ Rupp einige Bäume

Digitized by Google

seitwärts herausschließen; sie drangen mit ihrem dicken Ende 18 bis 24 Fuß tief in die Erde ein, und als zufällig ein liegender von einem herabgleitenden getroffen wurde, spaltete dieser ihn wie der Blitz von einem Ende zum andern.“

Auf den Gesetzen der schiefen Ebene beruhen eine Menge einfacher Instrumente, wie der Keil, das Messer, die Schraube u. s. w.

Echo (v. d. griech. Ἠχώ Schall, Ton) Wiederhall heißt die Erscheinung, daß von entfernter stehenden Gegenständen der Schall so zurückgeworfen wird, daß einzelne Laute Sylben, Worte und Sätze von dem, der gesprochen hat, so wie von anderen Personen gehört werden, als kämen sie von jenem den Schall reflectirenden Orte her. Je nachdem derselbe Schall ein, zwei oder mehreremale wiederholt wird, unterscheidet man einfache, zweifache, dreifache ꝛc. Echo's, und je nachdem das Echo eine Sylbe (von einem längeren Satze also nur die letzte Sylbe) oder zwei und mehrere Sylben wiederholt, unterscheidet man einsylbige, zweisylbige, dreisylbige u. mehrsylbige Echo's. Auch hinsichtlich der Deutlichkeit und Stärke, mit welcher die Sylben nachgesprochen werden, sind die Echo's sehr verschieden; während einige undeutlich und rauh wiederhallen, sprechen andere hell und wohllautend nach, und bei einigen findet eine ungemeine Verstärkung des Tones statt. Endlich gibt es Echo's, bei denen der Redende selbst den Wiederhall nicht hört, wohl aber Personen, die sich an einer gewissen Stelle befinden, und zwar vernehmen diese zuweilen vorher auch den ursprünglichen Ton, zuweilen aber auch hören sie diesen nicht, sondern allein das Echo; bei den meisten Echo's indeß hört der Redende erst sich selbst, dann das Echo.

Zu den vielfach denselben Laut wiederholenden Echo's gehört ein siebenfaches bei Cyrcus, ein zwölffaches bei Verdun, ein funfzehnfaches bei Brüssel und ein siebzehnfaches zwischen Coblenz und Bingen am Rhein an den Ufern der Nahe. Bei diesem letzteren zeigt sich noch die erwähnte Erscheinung, daß die das Echo hörenden denjenigen, welcher die ursprünglichen Töne durch Sprechen oder mittelst eines Instrumentes hervorbringt, wenig oder gar nicht hören, die Stimme des Echo's wechselt in der Stärke, so daß es bald ferner bald näher herzukommen scheint, und auch die Richtung, aus welcher verschiedene Personen den Wiederhall hören, ist verschieden. Das vielfachste Echo unter allen bekannten ist wohl das beim Schlosse Simonetta in der Nähe von Mailand, welches durch die Flügel des Schlosses gebildet wird. Dieses wiederholt einen Pistolenschuß 56 mal, ja nach Bernoulli sogar 60 mal. — Mehrsylbige Echo's sind zu Woodstock bei Oxford, von welchen Plot bei Tage 17, bei Nacht 20 Sylben wiederholen hörte; ferner zu Derenburg, welches Ebell beobachtete. Er sagte demselben den aus 27 Sylben bestehenden Satz vor: Conturbabantur Constantinopolitani innumerabilibus sollicitudinibus, und hörte dieselben durch das Echo deutlich wiederholt werden. Gassendi erzählt von dem Grabmahle der Metella, Gemahlin des Crassus, daß es den ersten Vers von Virgils Aeneis achtmal wiederholt habe;

Digitized by Google

daſſelbe alſo war zugleich achtfach und fünfzehnſylbig. Aehnlich iſt das Echo in den Adersbacher Felſen (im böhmiſchen Rieſengebirge), welches dreifach ſiebenſilbig iſt, d. h. mit der größten Deutlichkeit ſieben Sylben dreimal wiederholt. — Mit dem Echo am Rhein hat dasjenige Aehnlichkeit, welches Quesnet, ein Benedictiner, zu Genetay beobachtet und beſchrieben hat. Dort vernimmt der, welcher um das Echo hervorzurufen ſingt, nicht das Echo, ſondern nur ſeine eigene Stimme, die an beſtimmten Orten befindlichen Zuhörer aber hören die Stimme des Echo's bald näher und lauter, bald ferner und leiſer, einige hören das Echo von dieſer, andere von jener Seite, einige vernehmen einen einfachen, andere einen mehrfachen Wiederhall.

Der Grund zur Entſtehung des Echos liegt in dem Umſtande, daß ähnlich wie die Lichtſtrahlen auch die Schallſtrahlen oder Schallwellen von feſten Gegenſtänden zurückgeworfen werden. Denken wir uns die Fortpflanzung des Schalles auf ähnliche Weiſe durch eine wellenartige Erregung der Luft bewirkt, wie im Waſſer die Wellen ſich fortpflanzen, ſo werden wir hier wie dort natürlich finden, daß die Welle ſchwächer und ſchwächer werdend ſich fortſetzt, ſo lange ſie keinen Widerſtand an einem entgegenſtehenden Körper findet; ſtößt ſie aber auf einen ſolchen, ſo bildet ſich an dieſem eine Welle, welche nun wie vorher die Welle hinging, ſo jetzt auf zurück zu, vom Widerſtand leiſtenden Körper ab ſich fortſetzt. Es ſcheint hiernach aber, als wenn wir ſtets einen Wiederhall vernehmen müßten, ſobald wir gegen einen feſten Gegenſtand zu ſprechen, allein es kommt ſowohl auf die Beſchaffenheit des entgegenſtehenden Körpers an als auf deſſen Entfernung. Hat derſelbe eine ſehr geringe Elaſticität und noch dazu eine rauhe, ſchmutzige oder ſtaubige Oberfläche, ſo wird er nur äußerſt ſchwache und daher vom Ohre unbemerkte Wellen zurückwerfen. Unſer Ohr kann ferner in Einer Secunde nur 8, höchſtens 9 Laute von einander unterſcheiden, d. h. wenn ein Laut von einem vorhergehenden unterſchieden werden ſoll, ſo müſſen beide wenigſtens um eine Neuntelſecunde aus einander liegen. Da nun erfahrungsmäßig der Schall (bei einer Temperatur von 0°C. und in trockener atmoſphäriſcher Luft) mit gleichmäßiger Bewegung 332,244 Meter oder ungefähr 1050 W. Fuß in der Sec. zurücklegt, alſo in einer Neuntelſecunde $\frac{1050}{9}$ F. durchläuft; ſo muß ein Schall, der für unſer Ohr durch Zurückwerfung von einem feſten Körper vernommen werden ſoll, bis hin zu dieſem Gegenſtande und zurück mindeſtens $\frac{1050}{9}$ F. durchlaufen können, denn dann wird zwiſchen dem urſprünglichen Laute und ſeinem Wiederhalle eine Neuntelſecunde verfließen, und wir werden beide vernehmen. Der Gegenſtand, welcher alſo einen Schall hörbar reflectiren ſoll, muß, da der Schall bis zu ihm und von ihm zurück zweimal denſelben Weg zu durchlaufen hat, wenigſtens $\frac{1050}{2.9} = 58{,}3$ F. von dem Orte entfernt ſein, an dem der Schall entſteht. Ein entgegenſtehender Körper, der 58,3 F. entfernt iſt, wird folglich, wenn er

Digitized by Google

übrigens die zu einer kräftigen Reflexion nöthige Elasticität besitzt, ein einsylbiges Echo geben; ein 2 mal 58,3 = 116,6 F. entfernter Gegenstand ein zweisylbiges Echo u. s. f. Gibt es mehrere in ungleicher Entfernung stehende zurückwerfende Gegenstände, so daß der eine ein einsylbiges, der zweite ein zweisylbiges u. s. w. Echo gibt, so erhält man auf diese Art ein einfaches, zweifaches u. s. w. Echo. Befinden sich aber den Schall zurückwerfende Gegenstände in kürzerer Entfernung vom Ursprunge des Schalles als in der angegebenen von 58,3 F., so wird zwar der zurückgeworfene Schall nicht von dem ursprünglichen unterschieden werden können, aber, indem der zurückgeworfene Schall unserem Ohre mit dem ursprünglichen Schalle zusammenfließt, erscheint er als eine Fortsetzung dieses letztgenannten, und gibt diejenige Erscheinung, welche Nachhall genannt wird. Nachhall und Wiederhall haben daher einen und denselben Grund der Erscheinung, und der Unterschied zwischen beiden liegt allein in der beschränkten Genauigkeit unseres Ohres bei Beobachtung kurz auf einander folgender Laute. (Vergl. d. Art. Resonanz.)

Das eben Gesagte wird durch die angestellten Beobachtungen im Allgemeinen bestätigt, indeß kommen allerdings viele Erscheinungen vor, welche mehr oder weniger damit im Widerspruche zu stehen scheinen, doch mag dieser Widerspruch in örtlichen Umständen seinen Grund haben, die dem Beobachter entgangen sind, vielleicht auch kennen wir noch nicht alles dasjenige, was von Einfluß auf die Erscheinung sein kann.

Die Erfahrung lehrt, daß zur Zurückwerfung des Schalles die verschiedenartigsten Körper geeignet sind: Mauern, Wälle, Berge, Felsen, Ufer, Wälder, ja sogar die Seegel der Schiffe, (besonders wenn mit dem Sprachrohre gegen die convexe Fläche der Seegel mehrerer beisammen liegender Schiffe gesprochen wird), die Wellen des Meeres (wenn von den Schiffen aus nach Vögeln geschossen wird), die Wolken (vergl. d. Art. Donner Bd. I. S. 613). Daß bei der Zurückwerfung des Schalles durch diese verschiedenartigen Gegenstände ein Erbeben derselben stattfinde, läßt sich nun freilich im einzelnen nicht nachweisen, indeß sprechen gewisse Beobachtungen, die Hassenfratz anführt, dafür. So erzählt derselbe, daß Gay-Vernon in seiner Jugend ein Echo gekannt habe, welches wie es schien durch die Gebäude einer Mühle erzeugt wurde. Gay-Vernon hielt sich darauf einige Jahre in Paris auf, und als er von da zurückkehrte und das Echo aufsuchte, war es verschwunden. Nach genauerer Beobachtung fand er die Gebäude unverändert, aber einige Bäume fehlten, welche sonst vor denselben gestanden hatten. Diese Bäume also hatten wesentlich zu Erzeugung des Wiederhalles beigetragen. Noch merkwürdiger ist eine Beobachtung, welche Hassenfratz selbst in Folge der eben angeführten anstellte. Er hatte nämlich in der Ebene des Mont-Rouge bei Paris ein Echo entdeckt, welches, wie es schien, durch eine Mauer erzeugt wurde, vor der eine Reihe Bäume stand. Hassenfratz ließ in der geeigneten Entfernung Töne hervorbringen, und er selbst näherte sich allmählig der Mauer, als er derselben näher kam, verschwand das Echo, dagegen aber bemerkte er einen Nachhall, der am stärksten in der Nähe der

Digitized by Google

Bäume war, hinter denselben nach der Mauer zu aber wieder abnahm bis er gänzlich verschwand. Hierauf legte er das Ohr an die Mauer und dann an die Bäume, und empfand Schwingungen nicht der Mauer, sondern der Bäume. Diese Beobachtung stimmt ganz mit der oben gegebenen Erklärung des Echos überein. Die Mauer ohne die Bäume würde vermuthlich kein Echo gegeben haben, weil sie von zu geringer Elasticität war, die zurückkehrenden Schallwellen daher nur sehr schwach, d. h. unvernehmbar sein konnten. Elastischere Körper sind die Bäume; durch die Schwingungen in welche sie versetzt wurden theils von den direct sie treffenden Schallwellen, theils von denen, welche wenn auch von geringer (in größerer Entfernung bis zum Verschwinden) Stärke von der Mauer zurückgeworfen wurden, — durch diese Schwingungen wurden die Schallwellen mit einer solchen Stärke reflectirt, daß sie in der gehörigen Entfernung als Wiederholung des ursprünglichen Lautes, d. h. als ein Echo gehört wurden. Nähert man sich, wie Hassenfratz dem Orte, an welchem das Echo erzeugt wird, so muß nothwendig der Wiederhall in einen Nachhall übergehen, denn die beiden Töne, der ursprüngliche und der reflectirte, treffen dann das Ohr in so kurzer Zeit nach einander, daß dieses beide nicht mehr zu unterscheiden im Stande ist. Es ist längst bekannt und ausgemacht, daß elastische Körper durch einen Schall in starke Schwingungen versetzt werden, daß sie erheben und selbst einen Schall zu geben im Stande sind, Savart und Chladni haben nachgewiesen, daß auch minder elastische Körper, wenn sie von einem starken Schalle getroffen werden, ähnliche Erscheinungen darbieten. Hierauf beruht die Resonanz (s. d. A.), nach dem Angeführten aber auch der Nachhall und der Wiederhall, indem nur die geringere oder größere Entfernung das Mittönen der Körper bald als gleichzeitiges Tönen, daher als Verstärkung des Schalles, bald als Fortsetzung des ursprünglichen Tones, bald als Wiederholung desselben auftreten macht. Die Verschiedenartigkeit des Wiederhalles, indem er bald dumpf, bald hell und glockenartig auftritt, läßt sich aus der Beschaffenheit der mittönenden Körper erklären; und wenn endlich bekannt ist, daß gewisse Körper vorzugsweise nur in bestimmten Tönen mitklingen, so hat man auch diesen Erscheinungen entsprechende Beobachtungen in Bezug auf den Wiederhall gemacht. Hassenfratz nämlich führt an, daß verschiedene Echo's in unterirdischen Gallerien bloß gewisse Töne wiederhallen, und erst dann, wenn der ursprüngliche Schall ein bestimmter musikalischer Ton geworden ist. Ferner erzählt er, daß im alten Collegium von Harcourt die von einem in der Mitte des Hofes hervorgebrachten tiefen Töne durch das Echo in der Straße La Harpe, die hohen aber in einer 50 Grade nördlichere Richtung wiederholt wurden. Auch an die oben angeführten Erscheinungen bei dem Echo am Rhein und bei dem zu Genetay kann hier erinnert werden.

Das Mittönen der Körper, das Erheben elastischer Gegenstände durch den Schall, ist es demnach, welches dem reflectirten Schalle diejenige Stärke gibt, daß er in einer größeren Entfernung als Echo gehört wird; von der Beschaffenheit und der Menge der mittönenden

Digitized by Google

Körper wird es daher bedingt sein, mit welcher Stärke das Echo auftritt, und es kann leicht der Fall sein, daß das Echo den Schall stärker wiedergibt als er ursprünglich war. Namentlich die Menge der mittönenden Körper scheint mir der Grund zu sein, warum, obschon wenige einzeln stehende Bäume kein Echo zu geben im Stande sind, d. h. wegen ihrer geringen Anzahl nicht so stark mittönen, daß der Wiederhall aus der nöthigen Entfernung gehört werden könnte, doch, wenn man in einen Wald hineinruft, ein Echo gehört wird. Nicht wenig zur Verstärkung des Schalles mögen in bestimmten Fällen auch örtliche Umstände beitragen. Wenn die Luft nicht unbeschränkt ist, sondern durch einen festen Körper abgegrenzt wird, so daß sie ähnlich wie in einer Röhre, die an der einen Seite geschlossen ist, sich befindet; so verstärkt sich die zurückgehende Fortpflanzung des Schalles, weil sich dieser nicht ungehindert ausbreiten kann, sondern hierbei von den Wänden zurückgestoßen wird, oder auch diese selbst in Schwingungen versetzt und mittönend macht. Auf diese Weise mögen die Echo's in Bergschluchten entstehen. Auch die Form des reflectirenden Körpers ist von Einfluß auf die Stärke des Echo's, wie sich schon aus den Sprachgewölben (s. d. Art.) entnehmen läßt. Gekrümmte und gehölte Flächen, wie Höhlen, Ruinen, Ufer darbieten, scheinen daher vorzüglich geeignet ein Echo darzubieten, indem ähnlich wie die Lichtstrahlen durch Hohlspiegel im Brennraume die Schallstrahlen an Einem Orte concentrirt werden. Ein Beispiel bietet das Echo in den Adersbacher Felsen dar. In geringer Entfernung von der höchsten Felsenspitze hört man auch leise gesprochene Worte deutlich, sobald man sich aber nur wenige Schritte davon entfernt, so wird selbst nach einem Pistolenschusse kein Echo mehr gehört. Aber auch hier wie bei den Sprachgewölben findet sicher ein Erbeben der Flächen statt, von denen der Schall zurückgeworfen wird.

Der Ort, von welchem der Schall ausgeht, (welcher sich strahlenartig von diesem als einen Mittelpunkt ausgehend vorgestellt werden kann,) heißt das phonische Centrum (v. d. griech. *φωνειν* tönen und *κέντρον* Mittelpunkt) der Ort dagegen wohin die Schallstrahlen zurückgeworfen und als Echo vernommen werden, heißt das phonokamptische Centrum (v. d. griech. *κάμπτειν* beugen). Bei den meisten Echo's und bei allen, von denen wir bisher gesprochen haben, fallen beide zusammen. Eigentlich aber kann man von solchen Centren nur bei denjenigen Echo's sprechen, zu deren Hervorrufung und zu deren Vernehmung man an einem bestimmten Orte sich befinden muß, wo also das Echo durch die Concentrirung des Schalles, der von einer gekrümmten Fläche (oder von mehreren Gegenständen aus) zurückgeworfen wird, auf Einem Punkte stattfindet. Ein Echo, wo das phonische Centrum mit dem phonokamptischen nicht zusammenfällt, scheint das oben beschriebene bei Genetay zu sein. Muncke beschreibt auch ein derartiges Echo: „So gibt es bei Heidelberg ein auch sonst noch merkwürdiges Echo, welches sehr geeignet ist, das Rollen des Donners und die abwechselnde Verstärkung und Schwächung seines Schalles anschaulich zu machen. Ein Pistolenschuß nämlich, von einer etwas tieferen Stelle

des heiligen Berges ausgehend wird aus einer gegenüberliegenden Bergschlucht reflectirt, so daß man etwas weiter aufwärts, zur Seite und hinter dem schallenden Gegenstande, den Knall des Geschützes nicht selbst hört, wohl aber den Wiederhall desselben und zwar ganz eigentlich donnerähnlich mit einigen wiederkehrenden Verstärkungen bis zum allmähligen Verschwinden.“

Es muß nun aber noch erwähnt werden, daß allerdings gegen die gegebene Erklärung des Phänomens manche auf Beobachtungen sich stützende Einwendungen gemacht werden können. So stimmen namentlich bei sehr vielen Echo's nicht die Entfernungen, wie es scheint, mit den oben gegebenen Berechnungen, wonach der zurückwerfende Körper bei einem einsylbigen Echo mindestens 58,3 F., bei einem zweisylbigen doppelt so weit u. s. f. entfernt sein muß. Zum Theil hat dieß gewiß seinen Grund in dem unbestimmten Maaße der Sylbe, da einige Sylben in sehr kurzer, andere in verhältnißmäßig langer Zeit ausgesprochen werden; indeß sind die Abweichungen der Beobachtungen von der Theorie doch so bedeutend, daß man mit dieser letzten Erklärung einer Unregelmäßigkeit nicht ausreicht. Es ist oben bemerkt worden, wie das Echo zu Derenburg 27 von Ebell ausgesprochene Sylben nachsagte, es hätte nach der theoretischen Berechnung (wenn die Temperatur 0°C war), also mindestens 27. 58, 3 F. = 1574 F. entfernt sein müssen; Ebell fand aber die Entfernung nur = 254 Schritte, die er selbst zu 550 F. annimmt. Muncke bemerkt, daß, wenn man einen Schritt auch wie früher bei manchem Militär zu $2\frac{2}{3}$ F. annimmt, dennoch nur 677 F. herauskommen, auf jede Sylbe aber nur 25 F., der Schall also bei nur 5°C. Temperatur 1,3147 Secunden zum Durchlaufen dieses Raumes gebraucht habe *), hiernach also auf jede Sylbe nicht völlig 0,05 $\left(=\frac{1,3147}{27}\right)$, d. h. nicht ein halbes Zehntel einer Secunde käme. Es müßte folglich jemand in Einer Secunde 20 Sylbe aussprechen (und durch das Gehör unterscheiden) können. Nach Lichtenberg kann man die Zahlen von 1 bis 10 in Einer Secunde hinter einander aussprechen, wobei die große Geläufigkeit diesen Zahlen zu Hilfe kommt; doch dürfte auch diese Geschwindigkeit nicht leicht zu erreichen sein. Um den Fall bei Derenburg und ähnliche Beobachtungen mit der Theorie in Uebereinstimmung zu bringen, muß man annehmen, daß der Schall nicht direct zurückgeworfen, sondern von den einzelnen Theilen des das Echo erzeugenden Gegenstandes hin und her geworfen wird, bis die erforderliche Länge des Weges zurückgelegt worden ist.

---

*) Muncke nimmt an, daß der Schall bei 0°C. in Einer Secunde 1020 P. F. durchlaufe, wozu bei jedem Grade C. über 0° 2 F. hinzu kommen, hiernach würde der Raum von 677 F. hin und her bei 5°C. in $\frac{2.677}{1030}$ Secunden = 1,3147 Secunden durchlaufen werden.

Digitized by Google

Nur mit großer Unsicherheit kann man nach dem gesagten die Entfernung des den Schall zurückwerfenden Gegenstandes aus der Anzahl von Sylben berechnen, welche das Echo zurückgibt, sicherer erfährt man jene, wenn man nur Einen kurzen Laut hervorbringt, und dann an einer Secundenuhr, oder noch besser an einer Tertienuhr beobachtet, wie viel Zeit bis zum ersten Lautwerden des Echo's vergeht. Zugleich muß die Temperatur der Luft beobachtet werden. Bezeichnet dann z die Zeit in Secunden, und t die Grade der Temperatur nach C. so gibt folgende Formel $z \frac{(1019{,}12 + t.\ 1{,}926)}{2}$ die Entfernung des reflectirenden Gegenstandes in P. Fußen. Auch hierbei ist indeß angenommen, daß der Schall direct zurückgeworfen, nicht erst eine gewisse Zeit lang von den einzelnen Theilen des reflectirenden Gegenstandes hin und hergeworfen worden sei. Statt der Secundenuhr kann man sich in Ermangelung derselben jeder regelmäßig gehenden Taschenuhr bedienen, wenn man durch Beobachtung findet wie viele Schläge der Unruhe auf eine Minute kommen, und daraus, welches der Werth eines Schlages (gewöhnlich 0,25 Sec.) sei. So fand Derham, daß bei Woolwich ein über die Themse gehender und durch ein Echo zurückgeworfener Schall 3 Sec. ausblieb bei einer Temperatur von etwa 15° C. Werden diese Werthe von z und t in die obige Formel gesetzt, so ergibt sich die Entfernung der das Echo erzeugenden Fläche

$$\frac{3\ (1019,\ 12 + 15.\ 1{,}926)}{2} = 1572\ \text{F.}$$

Sehr häufig kommt es in der Natur vor, daß da, wo man ein Echo erwarten sollte, doch keines zu finden ist, und eben so häufig finden sich Echo's (wie in der Baukunst auch der Nachhall genannt zu werden pflegt) in größeren Gebäuden (in Hörsälen, Kirchen, Theatern u. s. w.) wo man sie gar nicht haben will, da sie von sehr störendem Einflusse sind. Man kann als wirksames Mittel gegen diese letzte Art von Echo's Durchbrechen der Wände, Anbringung von Zierrathen, um sie uneben zu machen, endlich Ausfüllen der Höhlungen mit Sägespänen anwenden. Durch das erste der angeführten Mittel wird dem Schalle ein Durchweg eröffnet, so daß er nicht mehr zurückgeworfen wird, durch das zweite Mittel wird die Verstärkung der zurückgeworfenen Schallstrahlen durch Vereinigung unter einander vermieden, und durch das dritte Mittel endlich wird die Elasticität der reflectirenden Wand gemindert, so daß sie nicht ungehindert schwingen und mittönen kann. Entsprechend dem letzten ist die Erfahrung, daß neue Gebäude einen außerordentlich lauten Nachhall geben, welcher sich verliert, wenn allmählig die Gebäude älter und die Wände mit Schmutz und Staub bedeckt werden.

Eigenschaft, Qualität (v. d. lat. Qualitas Beschaffenheit) eines Körpers ist dasjenige, durch was derselbe die Sinne des Menschen erregt. Die Eigenschaften der Körper sind es wodurch sich dieselben unterscheiden, sowohl von alle dem, was nicht körperlich ist, als auch

Digitized by Google

unter einander. Diejenigen Eigenschaften, welche den Körpern allen gemeinsam sind, oder der Materie als solcher zukommen, so daß durch dieselben die Körperlichkeit (Materialität) der Dinge bedingt ist und durch welche dieselben für unsere Sinne erst bemerkbar werden, heißen wesentliche allgemeine Eigenschaften. Sie sind die Ausdehnung, Figurabilität und Undurchdringlichkeit (s. d. Art). Diejenigen Eigenschaften, welche zwar an allen Körpern, die wir kennen, nachgewiesen werden können, doch aber nicht so eng mit dem Begriffe Körper zusammenhängen, daß ohne sie überhaupt keine Bemerkung durch die Sinne stattfinden könnte, heißen zufällige allgemeine Eigenschaften. Sie sind: Trägheit und Beweglichkeit, Porosität, Ausdehnbarkeit (s. d. Art. Ausdehnung und Dehnbarkeit) und Zusammendrückbarkeit, Theilbarkeit und Schwere (s. d. Art.) Den allgemeinen Eigenschaften stehen gegenüber die besonderen Eigenschaften, welche den einzelnen Körpern zukommen nicht darum weil sie überhaupt Körper sind, sondern weil sie diese oder jene bestimmte Körper sind, durch welche sich also die Körper unter einander unterscheiden. Sie haben indeß alle einen gewissen Grad von Allgemeinheit, indem jede derselben einer Reihe von Körpern zukommt. Die einzelnen Körper unterscheiden sich näher durch die mannigfaltige Verknüpfung der besondern Eigenschaften in ihnen. Hierher gehören die mannigfaltigen Farben, das Leuchten einiger Körper, die Sprödigkeit, Biegsamkeit u. s. w. Man spricht außerdem auch von relativen Eigenschaften der Körper, d. h. solchen die für jeden bestimmten Körper nur in Vergleich mit anderen Körpern bestimmt werden können; solche sind, Dichte, Festigkeit, u. s. w. Auch verborgene Eigenschaften der Körper hat man angenommen, um gewissen Erscheinungen eine scheinbare Erklärung zu geben, z. B. eine Eigenschaft der Materie überhaupt, welche man den Abscheu vor dem Leeren nannte (vergl. d. Art. Atmosphäre Bd. I. S. 55.); die neuere Physik hat aber eingesehen, daß solche unbekannte Eigenschaften eben darum, weil sie verborgen sind, nichtssagend sind. Am leichtesten ist es jede Erscheinung an einem Körper einer eigenen Eigenschaft desselben zuzuschreiben; die Physik als Wissenschaft hat aber zunächst den Zweck, die Erscheinungen auf die bekanntesten, allgemeinsten und möglichst wenigen Eigenschaften der Körper zurückzuführen.

Daß auch die unwägbaren Stoffe (s. d. Art.) von Einigen für Eigenschaften der Körper, mit denen sie in Verbindung vorkommen, erklärt worden sind, wird im folg. Art. Einfache Stoffe gesagt.

Einfache Stoffe oder Körper, chemische Elemente, Grundstoffe heißen in der Chemie diejenigen Stoffe oder Körper, welche bis jetzt noch nicht als Verbindungen aus anderen Stoffen haben nachgewiesen werden können. Sie bilden folglich, da man bei der Zerlegung eines jeden Stoffes zuletzt auf einfache Körper kommen muß, die Bestandtheile der ganzen Natur, durch deren mannigfaltige Verbindungen unter einander alle die verschiedenartigen Körper hergestellt werden.

Digitized by Google

Früher war es allgemeine Annahme, (und noch jetzt drückt man sich so aus,) daß Feuer, Luft, Wasser und Erde, die Elemente von allen was ist, seien; will man darunter einfache Stoffe verstehen, die durch ihre Verbindung andere hervorbringen, so ist es gewiß falsch sie noch als Elemente zu bezeichnen. Aber sie haben einen anderen Sinn, insofern man alles was fest in der Natur ist — Erde, alles was tropfbarflüssig — Wasser, alles was expansibel-flüssig — Luft, und endlich die sogenannten unwägbaren Stoffe Feuer nennt. Dann drücken sie (wenigstens die drei ersten) die verschiedenen Aggregationszustände (s. d. Art.) aus, in denen ein Körper (muthmaßlich jeder) auftreten kann.

Die einfachen Stoffe theilt Berzelius in unwägbare und wägbare einfache Stoffe. Die ersteren sind, wie ihr Name sagt, solche welche sich nicht wägen lassen, d. h. ohne Schwere (lat. imponderabel) sind, und für sich selbst (nicht in Verbindung mit anderen wägbaren Stoffen) keinen wahrnehmbaren Raum einnehmen. Andere Naturforscher nennen diese hier als einfache Stoffe aufgeführten: Licht, Wärme, Elektricität, Magnetismus Eigenschaften derjenigen Körper, in Verbindung mit welchen sie vorkommen. Unter einander zeigen diese Stoffe eine so große Verwandtschaft, daß man vermuthen kann, daß entweder einer oder der andere von ihnen aus den übrigen zusammengesetzt sei, oder daß sie alle aus gemeinschaftlichen, einfachen noch unbekannten Grundstoffen zusammengesetzt sind. Bei weitem größer ist die Zahl der wägbaren einfachen Körper, d. h. derjenigen Stoffe, die wir noch für einfache zu halten genöthigt sind, so lange wir sie zu zerlegen (als eine Zusammensetzung anderer aufzuzeigen) nicht im Stande sind. Mehrere Körper, die früher für einfach gehalten wurden, sind später als zusammengesetzt nachgewiesen worden, und gewiß wird beim Fortschreiten der Wissenschaft noch mancher der 54 einfachen Stoffe, die wir jetzt noch anerkennen, als zusammengesetzt sich erweisen lassen. Auch die organischen Körper sind aus (einer sehr beschränkten Anzahl der) einfachen Körper zusammengesetzt, aber das organische Leben hat diese Verbindungen auf eine noch unbekannte Weise bestimmt. (Vergl. d. Art. Chemie Bd. I. S. 380.) Folgende Tabelle gibt die 54 Grundstoffe an, mit ihren Bezeichnungen und stöchiometrischen Zahlen (s. d. Art. Stöchiometrie) und endlich nach derjenigen Reihenfolge geordnet, daß zwischen je zweien derselben eine desto größere chemische Differenz herrscht, je weiter sie von einander abstehen. Bei Entladung der elektrischen Säule durch flüssige Körper nämlich sammeln sich gewisse Stoffe gewöhnlich an dem positiven Pole und andere an dem negativen Pole an. Immer und ohne Ausnahme geht der Sauerstoff zu dem positiven Pole, das Kali dagegen immer und ohne Ausnahme zu dem negativen Pole. Zwischen beiden Extremen können die einfachen Stoffe, je nachdem sie bei Zersetzung ihrer Verbindungen häufiger zu dem einen als zu dem anderen Pole gehen, in eine Reihe geordnet werden.

Digitized by Google

Die einfachen Stoffe:		Stöchiometrische Zahlen. Sauerst. = 100.	Wasserst. = 1.
Sauerstoff (Oxygenium)	O	100	16,0
Chlor	Cl	221,3	35,4
Brom	Br	489,1	78,3
Jod	J	789,1	126,4
Schwefel (Sulphur)	S	201,1	32,2
Stickstoff (Nitrogenium)	N	88,5	14,1
Fluor	F	116,9	18,7
Phosphor	P	196,1	31,4
Selen	Se	494,6	79,2
Arsenik	As	470,0	75,3
Molybdän	Mo	598,5	95,9
Vanadin	V	855,8	136,9
Chrom	Cr	351,8	56,3
Wolfram	W	1183,2	189,6
Bor	B	136,0	22,0
Kohlenstoff (Carboneum)	C	76,4	12,2
Antimon (Stibium)	St	806,4	129,2
Tellur	Te	802,1	128,3
Tantal	Ta	1153,7	184,9
Titan	Ti	303,7	48,6
Kiesel (Silicium)	Si	277,5	44,5
Wasserstoff (Hydrogenium)	H	6,2	1,0
Gold (Aurum)	Au	1243,0	199,2
Platin	Pl	1233,3	197,6
Rhodium	R	651,4	104,4
Palladium	Pd	665,8	106,7
Iridium	Jr	1233,3	197,6
Osmium	Os	1244,2	199,4
Silber (Argentum)	Ag	1351,6	216,6
Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg	1265,8	202,9
Kupfer (Cuprum)	Cu	395,7	63,4
Uran	U	2711,4	434,5
Wismuth (Bismuthum)	Bi	1330,4	213,2
Zinn (Stannum)	Sn	735,3	117,8
Blei (Plumbum)	Pb	1294,5	207,4
Cadmium	Cd	696,8	111,7
Zink	Zn	403,2	64,6
Nickel	Ni	369,8	59,2
Kobalt	Co	369,0	59,1
Eisen (Ferrum)	Fe	339,2	54,4
Mangan	Mn	345,9	55,3
Cerium	Ce	574,7	92,1
Thorium	Th	744,9	118,7

Digitized by Google

Die einfachen Stoffe:		Stöchiometrische Zahlen. Sauerst. = 100.	Wasserst. = 1.
Zircon	Zr	420,2	67,3
Yttrium	Y	401,8	64,3
Beryllium oder Glycium	Be	331,5	53,1
Aluminium	Al	171,2	27,4
Magnesium	Mg	158,3	25,4
Calcium	Ca	256,0	41,0
Strontium	Sr	547,3	87,7
Baryum	Ba	856,9	137,3
Lithium	L	81,3	13,0
Natrium	Na	290,9	46,6
Kalium	K	489,9	78,5

Die einzelnen einfachen Stoffe und deren wichtigere Verbindungen s. in den einzelnen Artikeln.

Eis ist gefrornes Wasser, ein fester, farbloser, durchsichtiger Körper von sehr glatter Oberfläche, welcher sich durch die Wärme erst in Wasser, dann in Dampf verwandelt. Das Wasser verhält sich zum Eise ganz eben so, wie sich z. B. geschmolzener Schwefel zu festem Schwefel, oder geschmolzenes Blei zu festem Blei verhält. Es zeichnet sich dieser Körper, für den ein gemeinschaftlicher Name zu Bezeichnung desselben in seinen verschiedenen Aggregationszuständen fehlt, nur dadurch vor allen übrigen Körpern aus, daß er schon bei einem sehr geringen Wärmegrade flüssig wird, nämlich bei demjenigen, den unsere Thermometer mit 0° oder dem Gefrierpunkte (richtiger Thaupunkte) bezeichnen, während andere Körper (wie z. B. der Schwefel, die Metalle) einen viel höheren Temperaturgrad fordern, um vom festen in den tropfbarflüssigen, und später in den erpansibelflüssigen Zustand überzugehen. Es gibt indeß Körper, welche noch bei einem viel geringeren Wärmegrade (oder was dasselbe ist höheren Kältegrade) aus dem festen Zustande in den tropfbar flüssigen übergehen, z. B. das Quecksilber, welches bei — 32° R. seinen Gefrierpunkt hat. Noch andere Körper z. B. der Weingeist werden bei keiner von uns hervorbringbaren Temperatur fest. Wogegen wiederum andere Körper durch keine von uns berechenbare Hitze aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen z. B. Platin. Sobald die Temperatur unter den Gefrierpunkt der Thermometerscala (welcher eben nach jenem Uebergangspunkte des Eises in Wasser bestimmt ist) sinkt, verwandelt sich alles Wasser, welches diese Temperatur annimmt, endlich in Eis.

Diese Umwandlung tritt jedoch keineswegs in der Art ein, daß das Wasser so wie es auf 0° erkältet ist, augenblicklich zu Eis werde; vielmehr kann in vielen Fällen das Wasser mehrere Grad unter 0° erkaltet werden, ohne daß ein Erstarren desselben eintritt. Vom Gefrier-

Digitized by Google

punkte an hat aber das Wasser die Fähigkeit sich bei einer äußern, mechanischen, die Eisbildung fördernden Erregung in Eis zu verwandeln; und niemals geschieht eine solche Verwandlung bei einem Temperaturgrade der höher als der Thaupunkt liegt. Was die Ausdrücke thauen und gefrieren betrifft, so sieht man aus dem Gesagten, daß dieselben genau eben jene Erscheinung beim Eise bezeichnen, welche bei anderen Körpern, z. B. Metallen, schmelzen und erstarren genannt werden, und die Uebergänge vom festen in den flüssigen Aggregationszustand, und umgekehrt von diesem in jenen bedeuten.

Im Art. Ausdehnung Bd. I. S. 111. ff. ist gesagt worden, wie das Wasser seine geringste Ausdehnung bei einer Temperatur von 3°,7 C. habe, so zwar, daß es bis dahin bei allmähliger Abkühlung mehr und mehr an Dichte zunehme, von da ab aber zu tieferen Temperaturgraden erkältet wiederum an Dichte abnehme, d. h. bei demselben Gewichte wie vorher einen größeren Raum einnehmen, oder, was dasselbe, bei demselben Volumen ein größeres Gewicht habe. Beim Eispunkte beträgt die Vermehrung seiner Ausdehnung gegen diejenige, welche es bei 3°,7 C. hatte, nach den neuesten Versuchen von Muncke und Stampfer 0,00011. (S. in dem ang. Art. d. Tab. auf S. 112 und S. 118.)

Mit einer unglaublichen Kraft aber und auf einmal sehr bedeutend dehnt sich das Wasser beim Gefrieren aus. Auch hierfür sind Bd. I. S. 110 f. schon einige auffallende Beweise, neuere Beobachtungen angeführt worden. Schon Huigens machte 1667 eine Beobachtung über die Größe dieser Kraft. Er ließ nämlich Wasser in einem verschlossenen eisernen Rohre gefrieren, und fand das Rohr nach 12 Stunden an zwei Stellen geborsten. Das Gefäße durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers gesprengt werden, ist übrigens eine im Winter vielfach gemachte Erfahrung. Mannigfaltige Versuche stellte die Florentinische Akademie an; unter andern wurde eine messingene Kugel von 1,6 Zoll Wanddicke mit Wasser gefüllt und dem Froste ausgesetzt, und barst, wozu eine Kraft gehörte, welche Musschenbroeck auf 27720 Pfund berechnete. Nach Parrot gäbe dieses 21800 Pf. auf einen sphärischen Kubikzoll Eis. Horner führt noch andere Beispiele an: Im J. 1785 zersprengte Williams in Quebek eine Bombe von 12¾ Z. Durchmesser und 1½ bis 2 Zoll Metallstärke. Eine ganze Scheibe von Eis war durch den Riß hervorgedrungen. Bei — 17° R. wurde ein 2½ Pf. schwerer eingetriebener Stöpsel 62 F. weit geschleudert, und es drang augenblicklich ein 4 Zoll langer Eiscylinder heraus; und bei — 23° R. Kälte und unter einer Richtung von 45° flog der Stöpsel sogar 415 Fuß weit. Wahl zu Michelstädt im Odenwalde bediente sich des Eises, um alte Bomben zu zersprengen. Unter andern wurde bei — 17° R. eine mit Wasser gefüllte Bombe von Gußeisen von 18½ Par. Z. Durchmesser und 2¾ Z. Metalldicke, so vollständig zersprengt, daß Stücke von 150 Pf. 10 Schritte weit geschleudert wurden. Muncke berechnet die dazu erforderliche Kraft auf 2648000 Pfunde.

Parrot und andre Physiker haben den Grund dieser Ausdehnung

Digitized by Google

des Wassers beim Festwerden, (die Mehrzahl der Körper zieht sich beim Uebergange aus dem tropfbarflüssigen in den festen Aggregationszustand zusammen*), darin gesucht, daß die im Wasser befindliche Luft durch die beim Gefrieren frei werdende Wärme sich ausdehne, und daß sie, da sie nicht fest werden kann, in Gestalt einer Unzahl kleiner Bläschen, durch welche das Eis undurchsichtig wird, in den Zwischenräumen des Eises sich sammele. Schon die Erfahrung widerspricht dieser Behauptung, daß man (nach Berzelius) wenn man destillirtes Wasser in einem kleinen Glaskolben lange kocht, so daß die Luft aus dem oberen Theile des Kolbens ausgetrieben und durch Wassergas ersetzt wird, dann aber den Kolben während des Kochens luftdicht verkorkt, nachher durch Gefrieren dieses Wassers eine völlig luftfreie und durchsichtige Eismasse erhält, in welcher sich das Eis vom Wasser nur durch die Zurückwerfung des Lichtes von den Krystallflächen des Eises unterscheiden läßt; aber auch dieses Eises mehr ausgedehnt ist, als die Menge Wasser, aus der es entstand. Auch hat Muncke die Erfahrung gemacht, daß Gefäße mit ausgekochtem Wasser, von dichtem blasenfreien Eise eben so gut, ja noch weit eher zersprengt werden, als solche, in denen das Wasser nicht ausgekocht worden.

Eine genügendere Erklärung der starken Ausdehnung des Eises beim Gefrieren, kann man in denjenigen eckigen Zwischenräumen suchen, welche nothwendig gemäß der Krystallbildung des Eises entstehen müssen, aber einmal geht das krystallinische Gefüge ins unendliche fort, so daß diese Zwischenräume selbst verschwindend (im strengsten Sinne) klein sind; ferner aber ist durch diese Erklärung keineswegs gesagt, warum sich das Wasser von 3°,7 C. bis 0° schon ausdehne, noch ehe es gefriert. Aus der thatsächlichen Erscheinung folgt indeß, daß Wasser, welches in unsprengbar feste Gefäße eingeschlossen ist, nicht gefrieren könne, so lange es durch jene Gefäße an der Ausdehnung gehindert ist, die Erkältung mag auch noch so weit getrieben werden, so wie das Wasser im Papinschen Topfe sich erhitzen läßt weit über den Siedepunkt ohne sich in Dampf umzuwandeln, weil auch hier die (zur Dampfbildung nöthige) Ausdehnung gehindert ist.

Aus der Ausdehnung des Wassers vor und beim Gefrieren folgt nothwendig, daß daß specifische Gewicht des Eises geringer als das des Wassers sei. Die Angaben der Physiker über das specifische Gewicht des Eises weichen von einander ab, weil nicht alles Eis von gleichem specifischem Gewichte ist, sondern je nachdem es mehr oder weniger von Luft oder Wasser durchzogen ist, auch mehr oder weniger von dem specifischem Gewichte des Wassers abweicht. Berzelius gibt dasselbe = 0,916 an. Irvine und Scoresby nahmen zu ihren Untersuchungen wahrscheinlich schwimmendes Polareis, und bestimmten das specifische Gewicht zu 0,937; andere Angaben sind von Kraft (der Wasser in Glasröhren frieren ließ)

*) Die meisten Salze, nach Réaumur auch Gußeisen, Wismuth und Antimon dehnen sich beim Uebergange aus dem flüssigen Zustande in den festen ebenfalls aus.

Digitized by Google

zu 0,903, von Williams zu 0,945, Thomson zu 0,92 (das Wasser bei 12°,44 R. = 1 gesetzt), von Placidus Heinrich zu 0,905. Horner meint, man könne wohl das spec. Gew. des Eises auf 0,95 setzen. Im Allgemeinen ist das Verhältniß des spec. Gewichtes des Eises zu dem des Wassers wie 9 : 10.

Besonders bemerkenswerth ist noch die Beobachtung von Pl. Heinrich, nach welcher eine fortgesetzte Zusammenziehung des Eises bei zunehmender Kälte stattfindet. Pl. Heinrich fand nämlich, daß bei einer Abnahme der Temperatur von 10° R. im umgebenden Mittel ein Eiscylinder um 0,0003064 seiner Länge sich zusammenziehe.

Schon oben ist bemerkt worden, daß die Blasen im Eise ihren Grund in der im Wasser enthaltenen Luft haben, welche durch die bei der Eisbildung frei werdende Wärme ausgedehnt wird und am Entweichen gehindert ist. Das Eis erhält durch diese Blasen, wenn sie in größerer Menge vorhanden sind, eine grauweiße Farbe; und verschiedene Umstände können die Bildung dieser Blasen begünstigen, so wenn das Wasser mit Unreinigkeiten oder mit ungeschmolzenem Schnee gemischt ist. Beim schnellen Gefrieren der Gewässer pflegt das Eis sehr blasig zu werden, weil sich dann schnell eine feste Eiskruste auf der Oberfläche bildet, welche das Entweichen der im Wasser enthaltenen Luft hindert. Solches Eis ist dann gewöhnlich an den oberen Schichten durchsichtiger als weiter unten. Die schnell fließenden und reines Wasser führenden Bergbäche haben daher, wenn sie einmal gefroren sind, gewöhnlich ein sehr durchsichtiges blasenfreies Eis, wogegen die schneller gefrierenden, langsamer fließenden schmutzigern Flüsse des flachen Landes im Winter gewöhnlich mit ganz undurchsichtigem blasigen Eise bedeckt sind. Nach der oben angeführten Angabe Berzelius läßt sich destillirtes ausgekochtes Wasser zum Gefrieren ohne alle Blasen bringen, und Muncke sagt, daß er bei zahlreichen Versuchen aus gewöhnlichem Schneewasser immer ein blasiges, aus gekochten hingegen immer ein meist blasenfreies sehr durchsichtiges Eis erhalten habe. Lichtenberg dagegen ließ Wasser, nachdem er es durch Kochen und Auspumpen von Luft möglichst befreit hatte, im luftleeren Raume gefrieren, und fand das Wasser wie in gefrornen Schaum verwandelt voll großer Blasen. Dieselbe Erfahrung machte Parrot, der ausgekochtes Wasser in einer luftdicht verschlossenen Flasche gefrieren ließ. Zugleich ließ er eine gleiche Quantität mit Kohlensäure stark geschwängerten Wassers in einer anderen Flasche gefrieren. Es bildete sich in beiden Flaschen eine undurchsichtige blasige Eismasse. Horner erklärt das Widersprechende beider Angaben aus der Verschiedenheit der Temperaturen, bei denen die Versuche Muncke's und die von Lichtenberg und Parrot angestellt wurden. Er sagt: Muncke gibt zwar hierüber nichts an, aber Lichtenberg sagt ausdrücklich, daß er seinen Versuch bei großer Kälte gemacht habe, und Parrot bezeichnet — 18° R. als die Temperatur bei seinen Versuchen. Wahrscheinlich wird bei der Beseitigung des äußeren Luftdruckes der Einfluß den ein frühzeitiges Erstarren der Oberfläche auf die Bildung der übrigen Eismasse hat, noch verstärkt, indem jene 60 Grade frei

Digitized by Google

werdender Wärme im luftleeren Raume durch Verwandlung des Waſſers in Eis, wo das Waſſer ſchon bei + 30° R. ſiedet, leicht Dämpfe erzeugen können, welche elaſtiſch genug ſind, um die umgebenden Eistheile auseinander zu halten.

Es iſt ſchon oben angegeben worden, daß das Waſſer unter gewiſſen Umſtänden mehrere Grade unter den Gefrierpunkt erkältet werden könne, ohne ſich in Eis zu verwandeln, nämlich bei völliger Ruhe in verſchloſſenen Gefäßen. Die allmählige Erkältung einer Quantität Waſſer geſchieht ſo, daß zunächſt die mit der Luft am unmittelbarſten in Verbindung ſtehenden Theile des Waſſers, alſo namentlich die an der Oberfläche deſſelben befindlichen, die ihnen eigenthümliche Wärme an die umgebende Luft abgeben. So lange das Waſſer im ganzen noch eine Temperatur über 3°,7 C. hat, werden die einzelnen an der Oberfläche befindlichen Waſſertheilchen durch die Abkühlung dichter und ſchwerer, ſinken folglich in der Waſſermaſſe zu Boden und dagegen erheben ſich vom Boden aus andere noch wärmere Waſſertheilchen, um gleichfalls ihre Wärme an der Oberfläche der Luft abzutreten und wieder nach unten zu ſinken. So entſtehen durch Herabdrückung der Temperatur in dem Waſſer vertikale (von oben nach unten und von unten nach oben gehende) Strömungen, die zuerſt von Rumford beobachtet und durch Verſuche dargethan worden ſind. Dieſe Strömungen gehen ſo lange fort, bis die ganze Waſſermaſſe eine gleichmäßige Schwere und Dichte in allen ihren Theilen, d. h. eine gleichmäßige Temperatur von 3°,7 C. angenommen hat, denn, wie oben bemerkt worden, hat bei dieſer Temperatur das Waſſer ſeine höchſte Dichte und ſpec. Schwere erlangt. Erſt nachdem dieſe Strömungen aufgehört haben, kann die Oberfläche des Waſſers noch unter den Punkt höchſter Dichte erkältet werden, die dadurch wieder leichter werdenden Waſſertheilchen bleiben nun oben, und das Waſſer überzieht ſich endlich mit einer Eisrinde. Je geringer die Tiefe einer Waſſermaſſe iſt, deſto ſchneller wird ſich von der verhältnißmäßig weit ausgedehnten Oberfläche aus dieſe gleichmäßige Temperatur durchgängig herſtellen, deſto ſchneller wird alſo auch das Waſſer gefrieren. Bei ſtehenden tieferen Waſſeranſammlungen behält das zu Grunde liegende Waſſer eine Temperatur von 3,7° C., während bei herabgehender Temperatur der äußeren Luft die Oberfläche des Waſſers bald unter 0° erkaltet und gefriert.

Der tropfbarflüſſige Aggregationszuſtand wird durch das Gebundenſein einer gewiſſen Quantität Wärme (latenter Wärme, welche den Thermometer nicht afficirt) bedingt; ſobald dieſe frei zu werden, ſich zu entwickeln und in die Luft zu zerſtreuen verhindert wird, kann kein Uebergang aus dem tropfbarflüſſigen in den feſten Aggregationszuſtand ſtattfinden. Das Waſſer, wie bald aufzuführende Verſuche dargethan haben, hat 60° Wärme gebunden, erſt, nachdem dieſe frei geworden, geht es in Eis über. In dem Zurückbehalten dieſer 60° latenter Wärme iſt im Allgemeinen der Grund zu ſuchen, warum in ruhig ſtehenden verſchloſſenen Gefäßen, welche der Kälte ausgeſetzt ſind, ein Theil oder alles Waſſer im tropfbar flüſſigen Zuſtande verharrt, bis durch eine

Digitized by Google

Erschütterung die zurückgehaltene Wärme (welche das Thermometer nicht anzeigt), frei wird, eine Erhöhung der Temperatur des Wassers bis zum Gefrierpunkte hervorbringt, und das Wasser in Eis umgewandelt wird.

Diese Erscheinung wurde zuerst 1721 von Fahrenheit beobachtet. Derselbe hatte Regenwasser in einer Glaskugel von 1 Zoll im Durchmesser kochen lassen, und dann die Oeffnung derselben zugeschmolzen, so daß das Regenwasser in einem luftleeren Raum eingeschlossen war, denn bei der Abkühlung schlugen sich die vorher die ganze Kugel nach Austreibung der Luft erfüllenden Dämpfe als Wasser nieder, und über diesem war in der Kugel und in der Röhre, in welche sie auslief, ein leerer Raum. Das Wasser blieb bei einer Kälte von — 7°, 5 R. noch völlig flüssig; als aber die Spitze der Röhre abgebrochen wurde, erfüllte sich augenblicklich die Kugel mit kleinen Eissplittern. Anfangs glaubte er, daß die Abwesenheit der Luft in der Kugel über dem Wasser das Gefrieren verhindere, aber durch einen Zufall, indem er mit einer solchen Kugel in der Hand stolperte, überzeugte er sich, daß das Gefrieren des Wassers durch jede Erschütterung bewirkt werde. Zugleich bemerkte Fahrenheit, daß ein in die Eisbildung gehaltenes Thermometer sogleich auf 0° sich erhob. Später setzte Muschenbrök in wohl verstopften Flaschen Wasser die Nacht über starkem Frost aus; als er darauf den Stöpsel herauszog, sah er die Flasche in einer Minute mit unzähligen Eissplittern sich füllen. Aehnliche Beobachtungen machte Mairan; um die Eisbildung zu veranlassen reichte eine zitternde Bewegung der Hand, wodurch das Gefäß mit dem erkälteten Wasser erschüttert wurde, ein Anklopfen mit einem Schlüssel hin. Mit einer Schnelligkeit aber, die nach Mairan's Aussage der Geschwindigkeit, mit welcher Schießpulver sich entzündet, ähnlich war, ging die Eisbildung vor sich, wenn das Wasser mit der Spitze eines Eiszapfens berührt wurde; in einem Augenblicke füllte sich das Gefäß mit Eissplittern, wodurch das Wasser von der Oberfläche bis zum Grunde undurchsichtig wurde. Brugmann bemerkte, daß ein Wasserhammer noch bei einer Temperatur von — 10°, 7 R. ungefroren blieb; als er denselben aber langsam umwendete, wandelte sich das Wasser in Eis. Die angeführten Versuche wurden von verschiedenen Physikern wiederholt. Micheli du Creot hängte ein Thermometer in die Flüßigkeit und bemerkte, daß es bis zu — 4° R. sank, bei der Bildung des Eises aber sogleich bis 0° stieg. Deluc brachte in einen Kolben von Luft befreites Wasser und ein Thermometer, und setzte den Kolben mehrere Tage lang einer Kälte von — 5° R. aus. Als er hierauf das Wasser mit einem Stückchen Eis berührte, fror plötzlich ein Theil desselben, während der Rest die Temperatur des Gefrierpunktes annahm. Nach und nach fror auch dieser Rest, und nun erst folgte das Thermometer der äußeren Temperatur.

Blagden machte bei Wiederholung der Fahrenheitschen Versuche mit verschiedenen Wasserarten die Bemerkung, daß sich destillirtes Wasser bis auf — 4° R., nach dem Kochen bis auf — 5° R., hartes Brunnenwasser aber nur bis auf — 3° R. und 3°, 5 R. erkälten ließ, trübes Flußwasser aber schon bei 0° gefror. Während trübes Wasser

Digitized by Google

sehr geneigt zum Gefrieren sich zeigte, vermehrten Säuren und Salzauflösungen die Erkaltungsfähigkeit. Wichtiger noch scheint die von Bladgen und vorher von Wilke gemachte Beobachtung, daß das Gefrieren erkälteten Wassers durch eine die inneren Theile der ganzen Wassermasse gleichmäßig ergreifende Bewegung nicht herbeigeführt wird. Wasser welches eine Temperatur von — 5° R. hatte, gefror nicht durch Rütteln des Bechers, Anblasen der Oberfläche, Umrühren mit einem Federkiele. Sobald aber die inneren Theile durch eine scheinbar schwächere Erschütterung ungleich erregt wurden, gefror das Wasser alsbald, z. B. wenn der Arm, der den Becher trug, angestoßen, oder der Becher mit dem Boden aufgestoßen wurde, wenn man mit einem Federkiel oder mit Wachs die Seite des Bechers rieb, am schnellsten jedoch, wenn das Wasser mit einem Stückchen Eis berührt wurde. Dann breiteten sich von der berührten Stelle alsbald die schönsten Krystalle aus, und das Thermometer stieg von — 5° R. auf 0°. Weiter als die meisten früheren hat Gay-Lussac die Erkältung des Wassers dadurch zu treiben vermocht, daß er dasselbe mit einer Oelschicht bedeckte, welche ein schlechter Wärmeleiter ist, und daher die Entwicklung der im Wasser gebundnen Wärme zurückhält. Gay-Lussac erkältete das Wasser bis auf — 9°, 6 R.; Dalton sogar bis auf — 11°, 4 R.

Wiederholt ist von der im Wasser gebundenen Wärme die Rede gewesen, welche beim Gefrieren frei wird. Dieses Freiwerden von Wärme beim Gefrieren sieht man schon aus den im vorigen angeführten Beobachtungen, daß das Wasser, selbst wenn es vorher unter den Gefrierpunkt erkältet war, beim Gefrieren im Augenblicke der Erstarrung selbst sich wieder bis zu 0° erwärme. Besonders überzeugende Versuche hat in Bezug auf diese Wärmeentwickelung beim Gefrieren de la Beche angestellt. Derselbe setzte (nach Horner) 2 Theile Wasser und 1 Theil Oel, wo dann das Oel obenauf lagerte, einer Kälte von — 9° R. aus. Das Oel blieb flüßig so lange das Wasser nicht gefroren war, und gerann erst 3 Stunden nachher, während dessen anderes daneben stehendes Oel schon in den ersten Minuten des Versuches gefroren war. Als man bei einem anderen Versuche das Thermometer ins Oel setzte, zeigte es — 0°, 6 R., als das Wasser zu gefrieren begann; und erst nachdem alles Wasser dem Anschein nach gefroren war, fiel es auf — 4° R. wobei das Oel dennoch flüssig blieb. Endlich gefror auch dieses, und nun ging das Thermometer auf — 9° R. herab, welches die Temperatur der umgebenden Luft war. Als man die Flasche mit 2 Theilen Wasser und 1 Theil darüber gegossenen Oels einer Temperatur von + 0°, 6 R. aussetzte, gefror das Oel alsbald, während das Wasser flüssig blieb. Es thaute aber um einen Theil seiner Stärke an der die Luft berührenden Fläche wieder auf, als man dasselbe einer Kälte von — 8° R. aussetzte, welche das Wasser zum Gefrieren brachte (und also Wärme entwickelte), und wurde erst später, nachdem alles Wasser gefroren war, wieder fest.

Um aber die Quantität Wärme, welche beim Gefrieren frei wird, zu ermessen, bedient man sich eines Mittel, wodurch man zunächst findet, eine wie große Quantität Wärme bei Verwandlung des Eises in

Digitized by Google

Wasser, so verzehrt werde, daß sie nur als latente Wärme im Wasser sich befinde, nicht aber vom Thermometer angezeigt werde. Wenn man nämlich eine gewisse Quantität Schnee (sehr zart krystallisirtes oder gefrornes Wasser) von 0° R. Temperatur mit einer eben so großen Quantität Wasser von + 60° R. Temperatur zusammenbringt, so verwandelt sich der Schnee in Wasser, mischt sich als solches mit dem vorher aufgegossenen Wasser, und dieses Gemisch hat eine Temperatur von 0° R. Die 60° R. (= 75° C.) freier Wärme, welche das Wasser enthielt, haben also grade hingereicht, um dem Schnee als die zu seiner Umformung in Wasser nöthige latente Wärme zu dienen. Nimmt man zu dem Versuche Wasser, welches eine 60° R. übersteigende Temperatur hat, so hat das Gemisch eine Temperatur welche dem Ueberschusse der ursprünglichen Temperatur des Wassers über 60° R. gleich ist; hat dagegen das Wasser nicht völlig 60° R., so erfolgt nur eine unvollständige Lösung des Schnees im Wasser. Man kann den Versuch auch so anstellen, daß man 6 Theile Schnee von — 10° R. Temperatur mit Einem Theile Wasser von + 0° mischt. Dann gefriert die ganze Mischung und zeigt eine Temperatur von 0°. Beim Gefrieren des Wassers werden hierbei von dem Einen Theile Wasser 60° latenter Wärme frei, welche den Schnee afficiren, und da dieser um 6 mal 10 Grad weniger Wärme als das Wasser hat, so heben die + 60° vom Wasser die — 60° vom Schnee grade auf; so daß das Gemisch eine Temperatur von 0° annehmen muß. Die Angaben derer, welche diese Versuche zu Erforschung der beim Gefcieren frei werdenden Wärme angestellt haben, stimmen indeß nicht völlig in der Angabe von 60° R. überein, welche von Lavoisier herrührt, und allgemein angenommen wird. Wilke gibt die den tropfbar flüssigen Zustand bedingende Wärme des Wassers zu 58° R. an, Black zu 62$\frac{2}{9}$° R. Der Grund dieser Abweichen ist der schwer abzuhaltende Einfluß der umgebenden Luft an dem Orte, an welchem der Versuch angestellt wird, auf den Versuch.

Das Wasser nimmt wie die meisten übrigen Körper beim Erstarren Krystallgestalt an. Betrachtet man Wasser, welches bei mäßiger Kälte in einem dünnen Glase langsam zu frieren beginnt, so sieht man (nach Berzelius) erst ein dünnes Eisblatt auf der Oberfläche, dann aber Eisnadeln entstehen, die unter bestimmten Winkeln von 60° und 120° hervorschießen; an diese setzen sich neue, an diese wieder andere an u. s. f., bis endlich die ganze Masse erstarrt ist. Diese Krystalle zeigen wie die Krystalle anderer Körper, mancherlei Gestalten, welche theils von der Heftigkeit der Kälte und der Schnelligkeit ihrer Bildung, theils von den verschiedenen Graden der Ruhe beim Gefrieren und anderen derartigen Umständen abhängen. So findet man das Wasser bald in langen geraden Nadeln krystallisirt, bald in federartigen Krystallen, bald in glänzenden schuppenähnlichen Blättchen, die vielseitige Zwischenräume zwischen sich lassen u. s. w. Ausgebildete Eiskrystalle hat man selten beobachtet. Clarke fand 1821 an einer Stelle, wo der feine Nebel eines Wasserfalles bei einer lange anhaltenden Temperatur von — 0°,5 C. Eiszapfen an einem überhängenden

Brückenbogen gebildet hatte, rhomboëdrische Krystalle mit Winkeln von 60° und 120°. Die rhomboëdrische Bildung war bei diesen Krystallen durchgängig nicht nur äußerlich, denn als nach einigen Tagen bei +3° R. Thauwetter eintrat, behielten die Krystalle auch beim Schmelzen ihre angegebene Gestalt.

Schon früher (1805) entdeckte Héricart de Thury in der Eishöhle zu Fondeurle in der Dauphiné große Eismassen, die inwendig hohl und mit ausgebildeten Eiskrystallen besetzt waren; dieselben bestanden in sechseckigen und dreieckigen Prismen bis auf 2 Linien Durchmesser, und an einigen waren die Endkanten an der Basis des Prisma durch Facetten ergänzt, eine ausgebildete Pyramide fand sich aber nirgends. Der Boden der Höhle war ebenfalls mit einer Eisdecke überzogen, in der sechseckige Prismen zu erkennen waren.

Smithson will Eiskrystalle in Form doppelsechsseitiger Pyramiden gefunden haben, an denen die beiden Zuspitzungen Winkel von 80° mit einander bildeten. Die Krystallbildung geschieht bei starker Kälte mit sichtbarer Geschwindigkeit, und beginnt immer an festen Gegenständen, namentlich am Rande der Gefäße, an den Ufern der Seen und Flüsse u. s. w. Horner meint, eine mäßige und langsamer wirkende Kälte scheine geradere Nadeln und weniger kühne Schwünge (der einzelnen Krystallnadeln) zu liefern, als bei stärkerem Froste und schnellerem Gefrieren der Fall sei.

Am genausten und unter den ansprechendsten Formen kann man die Eisbildung an gefrierenden Fensterscheiben beobachten. Hier nämlich ist eine äußerst dünne und gleichmäßig vertheilte Wasserschicht, welche sich in Eis verwandelt, und der Umstand, daß das Licht durch die Fenster und die Eiskrystalle fällt, zeigt diese durch die feinsten Schattirungen nach allen Nuancen ihrer Dicke und ihres Gefüges. Die interessantesten Beobachtungen über diese Eisgebilde hat Horner im Januar 1826 angestellt, und folgendes darüber mitgetheilt: „Das Frieren der Fensterscheiben setzt gemeiniglich eine äußere Temperatur von einigen Graden unter dem Gefrierpunkte voraus, nahe so groß wenigstens muß die Erkältung der inneren Fläche des Fensters sein. Daher zeigt es sich an den äußeren Fenstern geheizter Zimmer erst bei einer äußeren Kälte von etwa — 4° bis — 5° R., weil die Zimmerwärme von etwa + 10° R. der Erkältung von außen entgegenwirkt. Es findet sich mehr an den Fenstern bewohnter Zimmer als in ungeheizten, weil in jenen mehr wässerichte Ausdünstungen entwickelt werden. Der Gang dieser Erscheinung ist folgender: Sobald die Fensterscheibe kalt genug ist, daß Wasser daran gefrieren kann, setzen sich die sogleich gefrierenden Dünste in einem dünnen, überall gleichen, undurchsichtigen, metallglänzenden Ueberzuge an, der aus sehr kleinen, gedrängt beisammenstehenden, mehr oder weniger unausgebildeten Sternfiguren zu bestehen scheint, und nur hie und da durch zufällige Ursachen unterbrochen ist. Die Ränder dieses nebelartigen Gewebes sind unregelmäßig und fein ausgezackt, ungefähr so wie man in kleinen landschaftlichen Darstellungen die Kante eines Tannenwaldes zu geben pflegt. Oft ziehen sich auf dem unbedeckten Theile der Scheibe einzelne gezackte Linien dieses

Digitized by Google

Reifes fort, deren gerade oder gekrümmte Richtung den Zügen zu folgen scheint, die auf dem Glase durch Abwischen oder auf andere Weise vorgezeichnet wurden. Bei fortdauernder Kälte häufen sich die anfrierenden Dünste und bedecken die ganze Scheibe mit einer gleichförmigen undurchsichtigen Haut. Auf dieser bilden sich sodann bei zunehmender Dicke einzelne rhomboëdrische Krystallisationen, die verworren durcheinander gehen, und nur durch die Verschiedenheit des durchgehenden und reflectirten Lichtes bemerkbar werden. Findet sodann durch Sonnenschein oder Zimmerwärme eine kleine unvollkommene Anschmelzung dieser porösen Eishaut statt, so entstehen bei dem schnellen Eintreten des Nachtfrostes jene schönen Blumengebilde, die auch der Ungebildete nicht ohne Vergnügen und Bewunderung betrachtet. In eleganten und kühnen Schwüngen erheben sich meist von unten herauf (weil das Gefrieren unten als in der kälteren Region anfängt, und die durch die Eisbildung selbst frei werdende Wärme in die Höhe steigt) dichte Büschel und schön gebogene Zweige, und breiten sich mannigfach verschlungen über die ganze Tafel aus; der matte Hintergrund der ersten Reifdecken des Glases gibt diesen Blumen einen schillernden Wechselglanz, auf welchem die feinen Lineamente der gedrängten Curven (krummen Linien) sichtbar werden. Bald sind es kleine blätterförmige Büsche, Verzierungen und Schnörkel aus gedrängten Fasern bestehend, wie Federn eines Helmbusches, bald kräftige mit mannigfachen Seitenzweigen versehene elegant gewundene Stämme, zuweilen bis auf 12 und 14 Zoll Länge in aufrechter Richtung, bald ein Gewirre mit zarten Haaren besetzter, durcheinander verschlungener Stränge; alles in gesetzloser doch schöner Verwirrung.“

„Um die Natur in ihrer Malerei zu belauschen, behauchte ich (Horner) bei einer äußeren Kälte von — 7° R. eine mit dickem Reif bedeckte Fensterscheibe so lange, bis die Eiskruste wegschmolz, und auf der Glasfläche nur eine dünne Wasserhaut hängen blieb, die so zart war, daß die Scheibe zumal an den oberen Stellen dem Auge ganz trocken schien. Nach etwa 5 Minuten zeigten sich zu beiden Seiten, und bald darauf auch unten kleine gerade- und gekrümmte Spitzen, die von dem noch stehen gebliebenen Eisrande aus in verschiedenen Richtungen ausgingen. Einige derselben schoben sich mit besonderer Schnelligkeit vor, und trieben nach beiden Seiten schön geschweifte Büsche, die bald darauf an Größe und Ausbreitung noch zunahmen. Es war ungemein ergötzend das Entstehen und Wachsen jener buschigen Zweige mit dem Auge zu verfolgen; sie hatten ursprünglich ganz das Ansehen der wohlgeformten Fahne einer Schreibfeder; diese vorne scharf zugespitzte Fahne war anfänglich etwa 1 Linie breit, mit den zartesten Seitenfasern versehen; letztere traten in vollständiger Anzahl ganz im nämlichen Momente aus ihrem Stamme heraus, so wie die Spitze sich vorwärts schob, was mit einer sichtbaren Geschwindigkeit von etwa $\frac{1}{4}$ Linie in der Secunde stattfand. Das von den heraustretenden Spitzen sichtbar verdrängte Wasser umfloß dann in weicher Rundung die neuen Gewächse, so daß nirgend etwas Scharfes, Eckigtes sich bilden konnte. Es war unmöglich das immer rege Spiel einer so kräftigen Vegetation

Digitized by Google

auf allen Seiten zu verfolgen; manches Bemerkenswerthe mußte übersehen werden. — Die Figuren waren übrigens ganz klar und durchsichtig, weil ihnen der duftige Hintergrund der gewöhnlichen Eisfiguren fehlte. Doch waren sie, wenn ein dunkler Grund nicht allzunahe dahinterlag, durch die verschiedene Brechung des Lichtes vollkommen zu erkennen. Nach einigen Tagen fingen sie an durch den Ansatz neuer Dünste ihre Schärfe zu verlieren, und die Scheibe wurde undurchsichtiger. Um den Versuch abzuändern, goß ich eiskaltes Wasser auf eine geschliffene Glastafel, und ließ es bis auf eine dünne Lage ablaufen; es entstanden alsobald auf derselben, und zwar in horizontaler Lage der Tafel, die nämlichen schönen Gebilde, in mannigfach wechselnden Formen unter den nämlichen Anfängen und Fortschritten. Ein großes gewölbtes Uraglas auf der converen Seite mit Wasser begossen, bot die gleichen Erscheinungen dar. Jede neue Begießung so wie jede neue Schmelzung des Eises an der Fensterscheibe lieferte ganz neue und veränderte Figuren; so daß dieß nicht; wie Mairan glaubte, gewissen Spuren und Faden auf dem Glase zugeschrieben werden können."

Von der bedeutenden Festigkeit des Eises sprechen die Erfahrungen, die wir in jedem Winter zu machen gewohnt sind; zolldickes Eis ist schon im Stande einen Mann zu tragen, aber freilich nur, wenn es auf einer Wasserfläche aufruht. Zugleich besitzt das Eis eine große Elasticität und Biegsamkeit, wie man sich beim Gehen und Schlittschuhlaufen über dünnes Eis leicht überzeugt, indem man bemerkt, daß sich das Eis unter dem sich darüber hin bewegenden biegt und nachher wieder in die Höhe geht. Frisches und schnellgebildetes Eis, aber eben so auch das aufthauende Eis zeigen diese Biegsamkeit in besonders hohem Grade. Daß zu dieser Tragbarkeit übrigens das unterliegende Wasser besonders beiträgt, zeigt sich dadurch, daß wenn unter der Eisdecke die Menge des Wassers nachläßt, das Eis sich nachsenkt, und dabei oft unter lautem Krachen weithinreichende Sprünge bekommt. Je kürzer dauernd und je ausgebreiteter der Druck auf solches auf Wasser ruhendes Eis ist, desto leichter ist es ihn zu ertragen im Stande; daher man auch über sehr schwaches Eis ohne Einbrechen kommt, wenn man schnell darüber hinfährt, und leichter sich auf demselben erhält, wenn man sich ausgebreitet darauf hinlegt, als wenn man aufrecht auf demselben stehen bleibt. In diesen Fällen läßt sich das Wasser nicht so schnell oder nicht so weit hin zur Seite drängen um das Durchbrechen zu gestatten; da das Einsenken des belasteten Theiles der Eisdecke wegen des unterliegenden Wassers nicht anders geschehen kann, als daß zugleich die umliegenden Theile durch das verdrängte Wasser gehoben werden, so leisten sowohl die unmittelbar belasteten Theile der Eisfläche, als die rings dieselben umgebenden dem Einbrechen Widerstand. Diesen Druck auf das Wasser sieht man deutlich, wenn eine kleine Oeffnung im Eise ist, und auf das diese Oeffnung umgebende Eis ein Druck ausgeübt wird, dann springt das Wasser wie bei einer kleinen Fontaine aus der Oeffnung. Auch bricht das Eis am leichtesten, wenn es nicht nach allen Seiten hin das Wasser vollkommen be-

Digitized by Google

deckt, in der Nähe größerer Oeffnungen und in der Nähe der Ufer, wenn es an diese nicht festgefroren ist.

Im Allgemeinen hat das Eis desto größere Festigkeit (nicht aber Elasticität), je heftiger und anhaltender der Frost ist, dem es ausgesetzt ist, je dichter es daher ist. Während bei strenger Kälte das Eis nur mit Mühe mittelst spitziger Aexte zerhauen werden kann, und wenn es springt, die schärfsten Kanten bildet, ist es bei geringer Kälte, bei Thauwetter, wenn es mit Wasser durchzogen ist, eine mehlige, fast zerreibliche Masse. Einen merkwürdigen Beweis von der Festigkeit des Eises gibt der unter der Regierung der Kaiserin Anna im J. 1740 zu Petersburg aus dem Eise der Newa erbaute Eispalast. Derselbe wurde aus behauenen Eisblöcken von 2 bis 3 F. Dicke zusammengesetzt zu einer Länge von 52½ F., einer Breite von 16½ F. und einer Höhe von 20 F.; selbst das Dach desselben bestand aus Eis. Vor dem Palaste standen 6 Kanonen und 2 Mörser, die sammt ihren Laffetten und Rädern aus Eis gearbeitet worden. Die Geschütze waren auf der Drehbank gebort und gedreht worden, und man feuerte aus ihnen, nur nahm man zur Ladung weniger Pulver als man zu gleich großen metallenen Geschützen zu nehmen pflegt, die Kanonen von der Größe sechspfündiger, welche sonst eine Ladung von 3 Pfd. Pulver erhalten, wurden nur mit ¼ Pfd. geladen, und die Kugeln, welche auf das Pulver gesetzt wurden, bestanden aus Werrig. Man machte indeß auch Versuche mit eisernen Kugeln, und eine solche schlug in einer Entfernung von 60 Schritten noch durch ein 2 Zoll dickes Bret. — Später 1795 ließ auch Weber in Landshut Kanonen und Mörser aus dem Eise der Donau verfertigen, und stellte Versuche mit denselben an, indem er Kugeln aus Eis aus denselben schoß. Als eine solche Kugel, die 36 Loth wog, mittelst eines Eismörsers senkrecht in die Höhe geschossen wurde, vergingen fast 2 Minuten, ehe sie wieder auf die Erde fiel. Die Geschütze wurden durch die Erschütterung beim Schießen nicht zerstört, und die Versuche gelangen selbst noch, nachdem Thauwetter eingetreten war, nur mußte dann der Mörser mit Löschpapier ausgetrocknet werden.

Directe Versuche über die Tragkraft des Eises hat Mairan angestellt. Solche Versuche müssen aber nach Beschaffenheit des Eises und der Temperatur zu sehr verschiedenen Resultaten führen, welches denn auch durch Mairan's Versuche bestätigt wurde.

Die größere oder geringere Klarheit und Durchsichtigkeit des Eises hängt ab von der größeren oder geringeren Menge jener kleinen oben erwähnten Luftblasen in ihm, so wie von dem Grade der Reinheit des Wassers, aus dem es entstanden ist. Am schönsten zeigt es sich in klaren Flüssen, in den Gletschern, in den Eisinseln und Eisbergen des Meeres. Im Zustande seiner größten Reinheit ist es fast eben so durchsichtig wie Wasser, (s. oben S. 30. f.) und hat eine glänzende bläulicht grüne Farbe, ähnlich derjenigen, welche eine dicke Wasserschicht zeigt. Auch in den übrigen optischen Eigenschaften steht das Eis dem Wasser nahe, doch ist sein Brechungsexponent kleiner als der des Wassers, vergl. die Tabelle Bd. I. S. 344 ff. Aus Eis

Digitized by Google

geschliffene Linsen concentriren die durchgehenden Sonnenstrahlen wie gläserne Linsen. Mit einer derartigen Linse von 4 Zoll Durchmesser und $3\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite hat Mairan Schießpulver entzündet.

Daß das Eis nicht eine Temperatur von mehr als 0° annehmen könne, liegt in seiner Natur, da es bei einer höheren Temperatur aufhört Eis zu sein. Unter dem Gefrierpunkte nimmt es aber die Temperatur der es umgebenden Luft an. Es ist also für die Grade unter dem Gefrierpunkte wärmeleitend. Immer aber ist es ein sehr schlechter Wärmeleiter, wie man schon daraus ersieht, daß es wie der Schnee die Wärme in den von ihm bedeckten Flüssen, und im Boden zusammenhält, so daß kein völliges Ausfrieren stattfindet. Die Esquimaux bauen sich daher Winterhütten von Schnee mit Fenstern von Eis; und in Sibirien ist es Sitte Fenster von Eis, zum Theil vor die Glasfenster als Doppelfenster, zu setzen, und sie durch Begießen anfrieren zu machen.

Das Eis ist ein Nichtleiter der Elektricität. Der beste Beweis hierfür ist, daß Achard aus Eis einen Cylinder arbeiten ließ, diesen statt des Glascylinders einer Elektrisirmaschine benutzte und gute Funken erhielt. Auch Erman und Bouvier haben Versuche über die elektrische Leitungsfähigkeit des Eises angestellt. Der erstere ließ in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre zwei Platindrähte so einfrieren, daß sie nur $\frac{1}{9}$ Zoll von einander abstanden. Als er diese Drähte mit den beiden Polen einer thätigen Volta'schen Säule verband, ging auch bei dieser geringen Entfernung der beiden Drähte von einander keine Spur von Elektricität zwischen ihnen über; die an beiden Polen angebrachten Elektrometer behielten ihre völlige Divergenz (das Zeichen, das keine Ausgleichung der Elektricitäten stattfand), und die Säule ertheilte Funken und Schläge von gleicher Stärke wie im unverbundenen Zustande der Pole. Man bemerkte weder Schmelzung des Eises noch eine Veränderung an den oxydirbaren Drähten. Bouvier baute eine Säule von 80 Lagen Zink, Silber und sehr dünnen Eisscheiben, sie zeigte aber auch nach mehreren Stunden nicht die geringste elektrische Wirksamkeit. Eben so unwirksam blieb eine andere Säule von 90 Lagen aus Silber, Eis und Pappscheiben, die in Salzwasser getränkt waren, und eine dritte Säule aus Zink, Eis und Pappscheiben. Wenn man die Pole einer kräftigen Säule von 128 Lagen Zink, Silber und mit Salzwasser benetzter Pappe, welche starke Schläge gab, mit kleinen Eisstücken berührte, so erhielt man nicht die geringste Erschütterung. Eben so wenig wurde der Geschmacksinn afficirt, wenn man den einen Pol der Säule mit der Hand anfassend, den andern mit einem Stückchen Eis im Munde berührte.

Entziehung der zum Bestehen des tropfbar flüssigen Zustandes nöthigen Wärmequantität ist im Allgemeinen Grund zum Gefrieren oder Festwerden aller tropfbarflüssigen Körper und so auch des Wassers. Es ist bekannt, daß wegen der zu Herstellung eines expansibelflüssigen Zustandes nöthigen Wärme, auch durch Verdampfung oder Verdunstung Kälte erzeugt wird, indem Wärme absorbirt wird. Die Abkühlung der Getränke durch Herbeiführung einer Verdunstung eines Thei-

Digitized by Google

les derselben (s. Alcaraza) beruht hierauf. Eine Steigerung dieses Prozesses kann selbst Gefrieren der Flüssigkeit herbeiführen. Hierauf gründet sich die zuerst von Leslie angegebene und ausgeführte künstliche Eisbereitung. Das Verfahren ist folgendes: Man stellt unter die Glocke der Luftpumpe eine weite und flache Schale mit concentrirter Schwefelsäure (oder einer anderen das Wasser stark absorbirenden Substanz) und einige Zoll über derselben eine kleine Glasschale mit 2 bis 3 Loth Wasser. Darauf pumpt man die Luft bis zu einer etwa hundertfachen Verdünnung aus. Nach der Luftverdünnung steigt ein Theil des Wassers als Dampf auf, denn durch den verminderten Luftdruck wird die Verwandlung des Wassers in Dampf beschleunigt. Dieser Dampf würde indeß bald die Glocke ganz erfüllen und eine weitere Verdunstung (richtiger Verdampfung) des Wassers verhindern, wenn nicht hiergegen die Schwefelsäure in Wirksamkeit träte. Diese nämlich hat eine so große Begierde mit Wasser sich zu sättigen (die Sättigung tritt aber erst ein, nachdem sie ein dem ihrigen gleiches Volumen Wasser aufgenommen hat), daß sie den Wasserdampf augenblicklich, wie er entsteht, wieder in Wasser verdichtet, und dieses in sich aufnimmt. So bleibt die Glocke stets vom Wasserdampfe frei, wie schnell sich dieser auch immer aufs neue erzeugt. Der Dampf erfordert bei seiner Bildung Wärme und entzieht diese dem Wasser, da die Umgebungen, (die Wände der Glocke) wegen der Schnelligkeit, mit welcher der ganze Prozeß vor sich geht, nicht geschwind genug die nöthige Wärmequantität herbeizuführen vermögen. Die Temperatur des Wassers sinkt endlich unter 0°; ungefähr 4 Minuten nach dem Auspumpen der Luft mit einer guten Luftpumpe hat das Wasser eine Temperatur von — 5° C. erreicht und erstarrt nun meistens augenblicklich. Die vorher im Wasser enthaltene Wärme ist an die Schwefelsäure übergegangen, welche bei ihrer Verdünnung durch das absorbirte Wasser sich erwärmt. Die bei dem Versuche gebrauchte Schwefelsäure kann man nachher durch Kochen wiederum von dem in ihr enthaltenen Wasser trennen, und sie aufs neue brauchen. Statt der Schwefelsäure kann man sich aber, wie schon gesagt, auch anderer das Wasser stark absorbirender Stoffe bedienen, z. B. gepulverter und stark getrockneter Erde, oder des Mehles. Leslie hat gefunden, daß stark getrocknetes Hafermehl die Schwefelsäure an Schnelligkeit der Wirkung fast noch übertrifft. Setzt man den Versuch nach dem Gefrieren des Wassers noch fort, wobei eine 10 bis 20fache Verdünnung durch die Luftpumpe hinreicht das Wasser im festen Zustande zu erhalten, so verdunstet das Eis allmählig, und nach 5 bis 6 Tagen ist ein Stück Eis von 1 Zoll Dicke verschwunden; die Schwefelsäure behält dabei eine hohe Temperatur. Um bei dem Versuche den Einfluß der äußeren Temperatur noch geringer zu machen, kann man über die erste Glasglocke noch eine zweite stellen. Eine andere Abänderung des Versuches, wobei die Wirkung der Luftverdünnung noch bedeutender hervortritt, ist die, daß man sich einer Glocke bedient, in der ein Stäbchen luftdicht bewegt werden kann. Innerhalb der Glocke wird nun an dieses Stäbchen ein auf das Gefäß, welches das Wasser enthält, passender Deckel befestigt, und mit diesem,

Digitized by Google

während die Luft verdünnt wird, das Gefäß bedeckt erhalten. Dann hebt man mittelst des Stäbchens den Deckel vom Gefäß ab und alsbald wird das Gefrieren eintreten, indem sich erst einzelne Eisnadeln bilden, bald aber das Ganze in Eine Eismasse verwandelt erscheint. Das so gebildete Eis ist von der größten Durchsichtigkeit und Reinheit*).

Auf ähnlichen Gründen scheint eine künstliche Eisbildung zu beruhen, welche in Bengalen, wo es sonst niemals friert, eingeleitet wird. Das Verfahren hierbei beschreibt Horner nach Barkers (eines dortigen Eisfabrikanten) und Williams Mittheilungen: Auf einem offenen freien Felde von etwa 4 Morgen Landes werden quadratische Plätze von 4 bis 5 Fuß Seite, etwa 1 Fuß tief ausgegraben und mit dürrem Zuckerrohre oder den Stengeln von indischem Korne so hoch ausgefüllt, daß nur ein kleiner Erdwall von etwa 4 Zoll Höhe übrig bleibt. Auf dieses Lager werden reihenweise kleine unglasirte irdene Becken von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke und $\frac{1}{4}$ Zoll Tiefe hingelegt und mit gekochtem weichen Wasser vollgefüllt. Am frühen Morgen wird das Eis eingesammelt und in die Eisgruben gebracht. Williams theilt folgende thermometrische Angaben mit. Am Morgen zwischen 5 und 6 Uhr zeigte ein das Strohlager zwischen den Becken berührendes Thermometer nie weniger als $+1°,3$ R. und es fand sich sogar Eis in den Becken, wenn es auf $+4°,5$ R. stand. Ein anderes Thermometer $5\frac{1}{2}$ Fuß über dem Boden aufgehängt, war gemeiniglich $1°,8$ R. höher, als dieses. Die Eisbildung ging also selbst dann noch vor sich, wenn die Temperatur der Luft $+6°,2$ R. betrug. Nach Barker sind die hellsten und stillsten Nächte diejenigen, die am meisten Eis liefern, Wolken und wechselnde Winde dagegen unverkennbare Vorzeichen einer geringen Eisproduction; und Williams setzt noch hinzu, daß Wind die Eisbildung gänzlich verhindere. Die Gefäße sind so eingerichtet, daß die Verdunstung vorzüglich begünstigt wird, indem sie irdene Gefäße ohne Glasur sind, und eine große verdunstende Oberfläche darbieten, das dürre Zuckerrohr vertritt die Stelle der im Leslie'schen Versuche angewandten Schwefelsäure oder des getrockneten Hafermehles. Nur ist zwar sonst Luftzug der Verdunstung förderlich, indeß bei Wind und bewölktem Himmel ist wenigstens in den meisten Fällen der Luftdruck stärker, und die Dampfentwicklung wird niedergehalten. Ueberdieß muß der Wind nothwendig den flachen offenen Gefäßen die in der Luft enthaltene Wärme zuführen, und so durch Erwärmung des Wassers die Eisbildung hindern; vielleicht würde er nicht diese nachtheilige Wirkung äußern, wenn man sich den Alcaraza's ähnlicher Gefäße bedienen könnte. — Gegen die Annahme, daß die Erkältung des Wassers hier durch Verdunstung herbeigeführt werde, spricht indessen eine Erfahrung, die Wells gemacht haben will. Dieser ahmte

*) Einer der hier angeführten ähnlichen Verdunstungsweise bedient man sich bei der Auflösung organischer Stoffe, und überhaupt bei Behandlung solcher Körper, welche durch Einwirkung von Wärme oder Luft zersetzt werden. (Berzelius.)

Digitized by Google

das Verfahren der Indier in kühlen Nächten des Mai's und October's in England nach. Er setzte nämlich in einer hellen Nacht zwei Untertassen jede mit zwei Unzen Wasser auf einem Lager von Stroh dem freien Himmel aus; am Morgen waren beide gefroren, und der eine Eiskuchen hatte 2½, der andere 3 Gran an Gewicht gewonnen. Hätte Verdunstung stattgefunden, so hätte nothwendig Verlust an Gewicht stattfinden müssen. Horner sucht den Grund der Erkältung daher nicht in der Verdunstung, sondern in der Wärmeausstrahlung des Wassers. Wells hat durch eine Reihe von Versuchen darzuthun sich bemüht, daß viele Körper (auch wo keine Verdampfung stattfindet) in heiteren Nächten eine Temperatur annehmen können, die einige Grad unter dem Gefrierpunkte ist, während die Temperatur der Luft beständig einige Grade über dem Gefrierpunkte sich befindet *).

Die Auflösung des Eises geschieht entweder so, daß sich dasselbe wieder mit Wärme zu Wasser umgestaltet, schmilzt, thaut, oder so daß es ohne erst in tropfbar flüssigen Zustand überzugehen verdunstet, d. h. sich in Form von Dampf in der Luft zertheilt. Das Aufthauen besteht nur darin, daß bei einer den Gefrierpunkt übersteigende Wärme der Luft das Eis aus derselben, nachdem es die Temperatur des Gefrierpunktes angenommen hat, allmählich jene 60° R. aufnimmt (latent macht), welche den tropfbarflüssigen Zustand des Wassers bedingen. Durch das Schmelzen des Eises wird daher der Luft ein großer Theil ihrer Wärme entzogen, ohne daß derselbe vom Thermometer im schmelzendem Eise angezeigt wird, denn dieses verbraucht ihn allein zur Erhaltung des Thauprozesses, erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt ist, nimmt dieses allmählig die Temperatur der umgebenden Luft an. So lange es schmilzt, hat das Gemisch von Eis und Wasser immer eine Temperatur von 0 Grad. Da dem Eise um zu thauen die Wärme aus der Luft oder durch den Regen zukommen muß, es für diese aber bei weitem nicht so leicht zugänglich ist als das Wasser, so geht das Aufthauen in der Regel bei weitem langsamer vor sich als vorher das Gefrieren. Besonders lange hält sich Schnee und Eis da, wo Wind und Regen nur schwer Zugang finden, z. B. in Senkungen und Klüften der Berge, und oft thaut es dort, wenn diese Schnee- und Eisansammlungen so hoch liegen, daß eine hohe Temperatur nie sie berührt, niemals. Am wirksamsten wird das Aufthauen durch den Regen befördert. Im Wasserstoffgas so wie im luftleeren Raume soll das Thauen bei weitem schneller vor sich gehen, und nach Martens soll das Eis im Salzwasser sich eher als im süßen Wasser auflösen. Beim Thauen wird das Eis brüchig und von lockerem Gefüge, weil sich die feineren Krystalle zuerst auflösen, während

*) Daher Ende Aprils und Anfang Mai's Pflanzen bei heiterem Himmel, während die Temperatur der Luft über dem Gefrierpunkte ist, häufig des Nachts erfrieren. In heiteren Nächten ist der Mond nicht bewölkt, daher der Aberglaube der (französischen?) Gärtner, der Mond sei Schuld am Erfrieren der Pflanzen.

Digitized by Google

die zuerst gebildeten festeren und stärkeren Krystalle am längsten sich halten. Was die zweite Art der Auflösung des Eises, die Verdunstung betrifft, so geht sie nicht bloß (wie das Thauen) in einer Temperatur vor sich, welche höher als der Thau- oder Gefrierpunkt ist, sondern wie die Beobachtung gelehrt hat, bei jeder Temperatur der umgebenden Luft. In dem strengen Winter 1830 habe ich beobachtet, wie auf leicht überschwemmten Wiesen, auf welchen das Wasser ganz durchgefroren war, und die zu Winterbelustigungen benutzt wurden, ohne daß auch nur einmal Thauwetter eintrat, der Umfang der mit Eis bedeckten Fläche immer kleiner und kleiner wurde und endlich auf vielen dieser Wiesen das Eis ganz verschwand. Die Wiesen waren nach dem Verschwinden des Eises ganz trocken. Schon 1708 hat Gauteron beobachtet, daß 1 Unze Eis über Nacht 24 Gran, in 24 Stunden also ungefähr $\frac{1}{10}$ ihres Gewichtes, ein anderesmal 100 Gran oder über $\frac{1}{5}$ desselben verlor. Mairan setzt den höchsten Verlust auf $\frac{1}{7}$ des Gewichtes in 24 Stunden. Dalton hat gefunden, daß (bei Temperaturen von 0° bis — $2\frac{1}{2}$° R.) eine Fläche Eis von 28 Quadratzollen 9, 6 Gran in der Stunde, also auf Einen Quadratzoll 0, 34 Gran verlor. Hierzu bemerkt Horner: Bei der mit großer Kälte meistens verbundenen großen Trockenheit der Luft und den dann zumal herrschenden Nordostwinden dürfte die Verdunstung des Eises wohl zuweilen auf das doppelte steigen; zugleich ist es einleuchtend, daß sie durch die beim Gefrieren stattfindende Wärmeentwicklung, zumal wenn die Operation schnell vor sich geht, bedeutend gesteigert werden muß; daher sie in dieser Epoche oft stärker ist, als selbst bei einer höheren äußeren Temperatur. Wenn man Eis von 0° R. Wärme einer Kälte von etwa — 15° R. aussetzt, so entsteht ein sichtbarer Dunst um dasselbe. Auch wenn man im Sommer Eis der warmen Luft aussetzt, wo es denn natürlich thaut, wandelt sich zugleich ein Theil in Dunst um, und entweicht sichtbar in die Luft.

Indem ich nun zu näherer Betrachtung derjenigen Eisgebilde, welche in der Natur vorkommen, übergehe, ist vor allem von einem derselben zu sprechen, welches eines der gewöhnlichsten ist, und dennoch den Physikern die meisten Schwierigkeiten bei der Erklärung seiner Entstehung dargeboten hat; ich meine jene gewöhnlich schmutzig grauen lockeren Eismassen, welche bei anfangendem Froste bewegte Gewässer häufig mit sich führen, das

Grundeis. Der unbefangene Glaube solcher Menschen, welche durch die Art ihrer Beschäftigung zu einer fortgesetzten Beobachtung des Wassers geleitet werden, namentlich der Fischer, Müller, Seeleute war längst, daß das Grundeis auf dem Boden bewegter Gewässer erzeugt und von da losgerissen an die Oberfläche desselben geführt werde. Die Physiker aber mochten dieß lange nicht annehmen, weil sie von der oben S. 32. angeführten Betrachtung ausgingen, daß sich das schwerere Wasser stets zu Grunde senken müsse, während das leichtere obenauf schwämme; bis zum Punkte der größten Dichte des Wassers, d. h. bis dieß eine Temperatur von etwa 4° R. erlangt habe, senke sich daher allerdings das kältere Wasser nach unten, bei einer weiteren Erkältung

aber schwimme aus derselben Ursache das 0° oder noch eine niedrige Temperatur habende Wasser oben auf, während das schwerere näher an 4° R. warme Wasser auf den Grund sich senke; daher könne das Eis nicht zuerst auf dem Boden, sondern nur auf der Oberfläche der Gewässer sich bilden. Diese Betrachtung hat bei stehenden Gewässern gewiß ihre allgemeine Gültigkeit, bei bewegten aber ist sie in so fern falsch, als sie keine Rücksicht auf die durch die Bewegung hervorgebrachten Veränderungen der Erscheinung nimmt. Eine große Reihe von Erfahrungen haben bestätigt, daß das Grundeis sich allerdings auf dem Boden der Gewässer, in denen es vorkommt erzeugt, und von da losgerissen und an die Oberfläche des Wassers gebracht wird. Müller, Fischer und Bootsleute hatten längst versichert, daß sie es gesehen hätten, wie sich das Grundeis vom Boden der Gewässer lostrenne und herauf komme, daß sie es oft mit Haken heraufgerissen hätten, sie führten an, daß das Grundeis sehr oft Schlamm, Kies und andere auf dem Boden der Gewässer liegende Dinge mit sich heraufgeführt habe; aber man glaubte ihnen nicht. Horner und in neuester Zeit Arago haben eine Zusammenstellung der von Physikern beglaubigten Thatsachen, welche für die Entstehung des Grundeises auf dem Grunde der bewegten Gewässer sprechen, gegeben; welche ich eine aus der anderen vervollständigend, nebst einigen noch später bekannt gewordenen Beobachtungen, wiedergeben will.

Der erste wissenschaftlich gebildete Mann, der von der Bildung des Eises auf dem Grunde der Gewässer sprach, war Plot, ungefähr 30 Jahre nach ihm brachte Hales den Gegenstand wiederum zur Sprache, indem er zugleich von ihm im J. 1730 und 1731 angestellte Beobachtungen und Untersuchungen zur Bestätigung anführte. Bei einer Kälte von — 9° C. sah Hales 1730 zu Teddington die Themse nahe am Ufer und an der Oberfläche mit einer vier Linien dicken Eisdecke belegt. Zugleich war unter dieser Decke eine zweite dickere vorhanden, die dem Boden des Flusses sich anschmiegte, da sie am Grunde fest saß. Dicht am Ufer war diese untere Decke mit der oberen verbunden, je weiter man aber in den Fluß ging, je tiefer also das Wasser wurde, desto mehr entfernte sie sich von ihr. Sie war übrigens weniger fest, als die obere Decke, und mit Sand, selbst mit Steinen vermengt, welche dieß Eis zuweilen mit in die Höhe brachte. Ueberdieß führte Hales an, daß die Wasserleute an der Themse das Grundeis mit ihren Stangen mehrere Tage vorher fühlten, ehe die Oberfläche des Stromes gefror, und es mit solcher Gewalt vom Boden emporsteigen sahen, daß es auf der schmalen Kante stehend ½ bis 1 Fuß über die Oberfläche emporschoß, ein Zeitlang in dieser Stellung blieb und dann auf die flache Seite sich hinlegte. Auch bemerkte Hales ausdrücklich, daß dieses Gefrieren am Grunde nie in stehenden Gewässern (Seen und Teichen) vorkomme, die Ursache desselben möge daher die Bewegung des Wassers sein, wodurch alle Theile desselben unter einander geworfen und gleichmäßig erkältet würden. Dennoch erklärte Nollet sich gegen die Existenz des Grundeises, und gab ein glänzendes Beispiel, wie selbst in der Wissenschaft (und leider hier oft am stärksten) Vorurtheile

gegen die Wahrheit, selbst dann wenn sie unmittelbar vor die Sinne tritt, das Auge verblenden können. Nollet stellte nämlich im J. 1743 bei einer Kälte von — 10° R. in der zugefrornen Seine Beobachtungen an. Er sah wie die untere Seite des Eises nicht glatt, sondern mit einem schmutzigen lockeren Eise bedeckt war, wie die Oeffnungen im Eise fortwährend mit solchem Eise immer aufs neue sich füllten, so oft man sie auch von demselben reinigen mochte, ja die Arbeiter, welche seine Entstehung vom Grunde des Flusses herleiteten, machten darauf aufmerksam, wie dieses Eis eben deßwegen schmutzig, mit Erde vermengt sei, oft sogar Grashalmen mit sich führe. — Desmarest beobachtete die Bildung des Grundeises im J. 1780 in der Dröme im südlichen Frankreich bei einer Kälte von — 8 bis — 9° C. Die Dröme war mit einem schwammigen Eise bedeckt. Dieses bildete sich anfangs längs dem Ufer, wo der Fluß nicht mehr, als zwei bis drei Fuß Wassertiefe hatte; bei anhaltender Kälte zeigte es sich bald auch in den tiefsten Theilen des Flusses. Nur an den Stellen, wo das Wasser über nackte Felsen floß, bemerkte Desmarest niemals eine Spur von Eis, rasch und reichlich dagegen bildete es sich da, wo Sand angehäuft war; an einigen Punkten war es bis 2 F. dick. Am unteren den Boden berührenden Theil des Wassers war es, wo die Eisschollen allmählig sich vergrößerten; das bereits gebildete Eis wurde fortwährend durch die Expansivkraft des sich bildenden Eises gehoben; und Desmarest sah, daß gewisses Grundeis in einer einzigen Nacht um 5 bis 6 F. sich gehoben hatte. An einigen Stellen war es durch den täglichen und fast gleichmäßigen Ansatz von unten so gewachsen, daß es Eisinseln bildete, die sich über das strömende Wasser erhoben. Desmarest erwähnt auch, daß versunkenes Holz und sogar einmal ein Boot, das im Spätjahr bei Krimpen im Lech versunken war, durch ansitzendes Eis erleichtert *), an die Oberfläche des Wassers gehoben worden sei. — Viele eigene und wohlausgekundete Beobachtungen Anderer über das Grundeis hat Brauns im J. 1788 mitgetheilt. Die Fischer versicherten, daß an kalten Herbsttagen, lange vor der Bildung einer Eisrinde auf den Flüssen, ihre auf den Boden des Wassers hinabgelassenen Netze sich mit einer solchen Menge Grundeis überzögen, daß es ihnen schwer würde, sie heraufzuziehen; daß ihre Aalkörbe oft von selbst an die Oberfläche kämen, und zwar von Außen bekleidet mit Eis; daß Anker, die im Sommer verloren gegangen, im darauf folgenden Winter durch die Steigkraft des daran haftenden Grundeises mit emporgebracht worden wären; daß dieses Eis die großen Steine, an die man mittelst Ketten die Baken befestige, emporhöbe, und dadurch die nachtheiligsten Verschiebungen dieser (zur Bezeichnung des Fahrwassers) dienenden Signale veranlaßte. Diese Angaben werden von Brauns bestätigt und hinzugefügt, daß er durch Versuche gefunden habe, daß

*) Durch das ansitzende spec. leichtere Eis (als Wasser) wurde die ganze Masse des Holzes sammt dem Eise leichter, als ein gleichgroßes Volumen Wasser, d. h. die Masse schwamm an der Oberfläche.

Digitized by Google

Hanf, Wolle, Haare, besonders Moos und Baumrinde am schnellsten mit Eis bedeckt würden. Die Metalle sollen in geringerem Grade diese Eigenschaft haben, unter ihnen am stärksten Zinn, Kupfer, Messing, Stahl. An rauhe Steine hänge sich das Eis leichter (z. B. an Sandsteine, Backsteine) als an glatte. Ein runder Stein vulkanischer Natur wurde nie besetzt, und eben so wenig Harze, Siegellack, Pech, Colophonium, Wachs, Wachstuch, Seide, gegerbtes Leder und gehobeltes Holz. — Knight beobachtete 1816 das Grundeis in der Teme, Merian 1823 im Canal St. Alban in Basel. Die ausführlichsten Beobachtungen unter den günstigsten Umständen stellte Hugi im J. 1827 und die folgenden Jahre über das Grundeis der Aar bei Solothurn an. Vom 2. bis 5. Febr. dieses J. ging die Aar mit Eis, am 15. war sie offen, am 16. floß sie ruhig und ihr Wasser war vollkommen klar. Am nämlichen Tage bei Ostwind stieg von 60 F. unter der Brücke und auf einer Strecke von 500 Quadratfuß unaufhörlich eine große Fülle großer Eisschollen aus dem Grunde des Flusses in die Höhe. Zugleich sah Hugi eine Bestätigung dessen was Hales angeführte hatte, daß die meisten Eisschollen vertical ein bis zwei Fuß über die Oberfläche emporstiegen, einige Zeit in dieser Stellung blieben, dann sich legten und horizontal fortschwammen. So ging dann von diesem Orte ab der Fluß mit Eis. Später kamen wenigere Eisschollen, aber mehrere waren so groß, daß sie mit dem einen Ende die Oberfläche des Wassers überragend, mit dem anderen noch auf dem Grunde des Flusses ruhten, und lange in dieser Stellung verharrten. Von der Brücke ab fließt die Aar mit Schnelligkeit auf einem 20 bis 30° geneigten Bette, welches hie und da ganz steinig ist. Ueber der Stelle, wo sich die Eisschollen erhoben, bildete sich in dem schon ruhig gewordenen Wasser beständig eine Art Strudel. Die Temperatur in der Luft war — 5°,7 C., nahe am Wasser — 4°,9 C., an der Oberfläche des Flusses selbst + 2°,1, im Wasser an den Brückenbogen, wo sich kein Eis bildete, + 3°, am Grunde, von dem sich das Eis erhob, 0° *). — Die anderen Beobachtungen Hugi's sind vom Febr. 1829. Am 11. Febr. war die Aar bei Solothurn überall frei von Eis, die Temperatur der Luft war seit mehreren Tagen + 4° bis + 6° C. In der Nacht vom 11. zum 12. fiel sie plötzlich auf — 14° C. Am 12. bei Sonnenaufgang begann der Fluß mit großer Heftigkeit Eis zu treiben, während er nirgends auf seiner Oberfläche gefroren war, sich also auch sicher keine Eisschollen vom Ufer losgerissen hatten, auch von oberwärts des Flusses konnte das Eis nicht kommen, denn zu Altrey 1½ Meilen oberhalb Solothurn führte der Strom fast gar kein Eis. Die Eisschollen begannen übrigens bald unterhalb der Brücke sich zu zeigen, an derselben Stelle, wo sie 1827 erschienen waren. Gegen

*) Zu diesen Angaben bemerkt Arago: Ein Umstand, der den Werth dieser Temperaturbeobachtungen schmälert, ist der Mangel des Beweises, daß das Grundeis vom 16. Febr. sich an diesem Tage gebildet habe. Das Eis konnte ja mehrere Tage vorher den Boden des Flusses bedeckt haben.

Digitized by Google

Mittag ſah man ſie ſogar Eisinſeln mitten im Strome bilden; am 13. waren deren 23 vorhanden. Die größten hatten 100 F. im Durchmeſſer. Sie waren ringsum frei, widerſtanden einem Strome, der ſich mit einer Geſchwindigkeit von 200 F. in der Minute bewegte, und dehnten ſich auf einen Raum von einer Achtelmeile aus. Hugi fuhr auf einem Boote an dieſelben heran, und fand ihre Oberfläche beſtehend aus einer 2½ bis 4 Zoll dicken Schicht von compactem Eiſe, die auf einer 9 bis 12 F. tiefen, auf dem Boden des Fluſſes feſtſitzenden Eismaſſe, von der Geſtalt eines umgekehrten Kegels ruhte. Dieſe Kegel beſtanden aus einem halbgeſchmolzenen (?richtiger wohl mit Waſſer durchzogenen) gallertartigen, dem Froſchlaich ähnlichen Eiſe, das unten weicher als oben war, und in allen Richtungen mit den Rudern leicht durchſtoßen werden konnte. An die Luft gebracht verwandelte ſich die Maſſe dieſer Kegel raſch in ein körniges Eis. Zur Zeit der Beobachtung war die Temperatur in der Luft, 28 F. über dem Fluſſe — 11°,2 C., 4 F. über demſelben — 9°,4, im Waſſer in 2 Zoll Tiefe 0°, in 5,5 Zoll Tiefe + 1°,0, 6 Zoll vom Boden + 1°,5, am Boden ſelbſt + 2°,4, zwei bis drei Fuß im Boden des Flußbettes + 8°. Dieſe Temperaturen des Waſſers wurden an einer Stelle des Fluſſes genommen, wo kein Grundeis war*). — Das vorige theils beſtätigend, theils aufklärend ſind die Beobachtungen Fargeau's am Rheine im Januar des J. 1829 bei Straßburg gemacht. Am 25. Jan. gegen 7 U. Morg. war die Temperatur der Luft bei der Brücke nach Kehl — 13°,71 C. Zugleich hatte in dem Theile des Rheines, welcher an der franzöſiſchen Seite wegen ſeiner Sandbänke eine Art See ohne Strömung bildet, das Waſſer 0°, allein in ½ Meter Tiefe fand man + 4°,4. Dieſer Theil zeigte nur nahe am Ufer einige Eisplatten. Ueber die Sandbänke hinaus in einer kleinen Bucht, wo das nicht tiefe Waſſer an einen ſehr raſchen Strom grenzte, ſchienen alle Kieſelſteine mit einer Art durchſichtigen Schaumes von 3 bis 4 Centimeter Dicke bedeckt, welcher näher unterſucht aus unregelmäßig nach allen Richtungen durchwachſenen Eisnadeln beſtand. In dieſer Bucht zeigte das Thermometer gleichfalls 0° an der Oberfläche wie am Boden des Waſſers. Eben ſo verhielt es ſich mit dem Waſſer des Stromes in ſeinem raſcheſten Theile. Hier unterſchied man auch, ſowohl im Bette des Rheines ſelbſt als auch an einigen Stücken Holz, die ſich an der anderen Seite des Stromes in 2 Meter Tiefe befanden, große Maſſen eines ſchwammigen Eiſes, in die man nur ſchwierig mit dem Ruder ſtoßen konnte. Dieß Eis an die Oberfläche gebracht zeigte ſich durchaus den unzählbaren Eisſchollen ähnlich, die damals mit dem Fluſſe hinabſchwammen. Fargeau ſagt: er habe mehremals

*) Die Temperatur des Waſſers an einer Stelle, wo ſich kein Grundeis bildete, war eben die Urſache, welche hier die Bildung des Grundeiſes hinderte; höchſt wahrſcheinlich war die Temperatur des Fluſſes, da wo ſich das Grundeis bildete, in der Tiefe 0°. Dieß machen auch die (oben ſogleich folgenden) Beobachtungen Fargeau's wahrſcheinlich.

Digitized by Google

beobachtet, wie unter seinen Augen Eis im großen Rhein vom Grunde sich losriß, und darauf zur Oberfläche schwamm. — Aehnlich wie Hales in der Themse fand 1830 auch Dühamel in der Seine eine unter der oberen befindliche am Boden hingehende Eisschicht von 4 Centim. Dicke; das Wasser war an der Stelle, wo aufgebrochen wurde, (2 bis 3 F. vom Ufer) ein Meter tief, und hatte unten wie oben 0°. Wohl die neuesten genaueren Beobachtungen sind die im Febr. 1832 von Strehlke in Berlin gemachten. Bis zum 12. Februar war sehr gelindes Wetter gewesen, von da trat Frostwetter ein. Am 14. war die Temperatur Ab. 10 Uhr — 5°,1 R. Um diese Zeit ließ Strehlke in den schnell fließenden Kanal, welcher die Werderschen Mühlen treibt, einen Korb hinab, der mittelst einer Leine an einem Flosse befestigt auf dem Grunde des Wassers durch mehre darin befindliche Ziegelsteine und Metallplatten festgehalten wurde. Uebrigens befanden sich im Korbe eine langhaarige Bürste und mehre diese festklemmende Stücke Buchenholz. Der Kanal war da, wo der Korb eingesenkt wurde, ungefähr 3 F. tief, und die Stelle des Korbes war etwa 7 bis 8 F. vom nächsten Ufer. Die Temperatur des Wassers war an der Oberfläche und am Boden 0°. Nach einer heitern Nacht war um 6 U. Morg. d. 15. Febr. die Lufttemperatur — 6°,8, um 7 U. wurde der Korb emporgezogen, während die Oberfläche des Wassers so wenig wie am vorhergehenden Tage gefroren war. Im Korbe war überall Eis gebildet. An den Wänden des Korbes zeigten sich größere, an den Metallplatten kleinere Eisblättchen. Die Zinkplatten, deren Oberfläche weniger sorgfältig bearbeitet war als die Kupfer- und Messingplatten, waren mehr damit bedeckt als die letzteren. Auch die erwähnten Holzstücke zeigten Eisblättchen, aber die größten saßen an den Haaren der Bürste, welche unter allen im Korbe befindlichen Gegenständen am reichlichsten damit bedeckt war. Diese Blättchen bildeten der Kreisgestalt sich nähernde Vielecke von 6 bis 8 Linien Durchm. und glichen fast den Schuppen von Fischen. Das Eis hatte eine weiße Farbe und geringe Durchsichtigkeit. Die Eisblätter ließen sich leicht von den Gegenständen, an denen sie saßen, ablösen. Etwa eine halbe Stunde nachdem der Korb aus dem Wasser gezogen worden, sah Strehlke an der Stelle des Canals, wo der Korb versenkt gewesen war, ganze Gruppen von Eisblättchen neben einander im Wasser stehen, welche an zarten sich bis zum Floß erstreckenden Eisfäden (?) festgehalten wurden, und auf dem Canale zeigten sich überall schwimmende Eisblättchen von derselben Art, nur daß sie nicht wie jene mit ihren Ebenen im Wasser vertikal standen. Die folgenden Nächte wurde der Korb wieder eingesenkt, aber ohne daß es nur einmal geglückt wäre Grundeis zu erhalten; es ist zu bemerken, daß vom 16. Febr. an die nächstfolgenden Tage die Temperatur des Wassers im Kanale über 0° war. Strehlke bezeichnete dasjenige Grundeis, welches er 1828 den 4. Jan. auf der Nogath bei Marienburg gesehen hat, und das den Fluß, (nachdem bis zum 1. Jan. kein Frostwetter gewesen war), der an beiden Ufern Eisränder hatte, zwischen diesen Rändern bedeckte, so daß kaum irgend wo freies Wasser gesehen wurde, als lockere Zusam-

Digitized by Google

menhäufungen von schmutzigen runden Eisblättern, welche sich an manchen Stellen zu größeren Eisschollen durch das dazwischen getretene Wasser des Flusses verbunden hatten. Sowohl diese Schollen als auch die beiden Eisufer zeigten sich ganz deutlich aus den kleineren Eisblättern zusammen gesetzt, welche den ganzen Fluß mehr als einen Fuß hoch überdeckten. Der Zusammenhang derselben war indeß so locker, daß ein Boot durch sie hindurch gehen konnte. Als einige Stunden später Strehlke auf dem Wege nach Danzig den zweiten Arm der Weichsel erreichte, war dieser schon zugefroren, und mittelst aufgelegter Bretter passirbar, hier konnte man deutlich erkennen, wie die Eisdecke aus dem Grundeise zusammengeronnen war. Strehlke setzt hinzu: „So viel ich erfahren habe, geht die Grundeisbildung immer dem Zufrieren der Weichsel voran, und sie leitet das Zufrieren des Flusses wieder ein, wenn durch Thauwetter einmal der Fluß wieder aufgegangen ist.“ — Zu den oben S. 46. angeführten Beispielen, daß schwere Lasten vom Grunde der Gewässer aufgehoben und an die Oberfläche gebracht worden, sind noch einige der merkwürdigsten beizufügen. Am 9. Februar 1806, so berichtet der K. Preuß. Lootsencommandeur Steenke in Pillau (dem Hafen von Königsberg am Ausflusse der Pregel), kamen bei einem starken Südostwinde und + 1° R. Wärme die 6 Klaftern langen eisernen Ketten, woran die Tonnen des Seegatts befestigt sind, und die seit Jahren bei Schappelts-Wrack in einer Tiefe von 15 bis 18 F. verloren gelegen hatten, plötzlich an die Oberfläche des Wassers herauf, und schwammen auf derselben; sie waren aber mit Eis in einer starken Mannsdicke ringsum völlig candirt. Eben so stiegen Steine 3 bis 6 Pfund schwer von selbst nach der Oberfläche; sie waren mit einer starken Eiskruste umgeben. Auch kam ein Thau von 3½ Zoll Dicke und etwa 30 Klaftern Länge, das im vergangenen Sommer in 30 F. Tiefe verloren gegangen war, wieder zum Vorschein, und lag horizontal auf dem Wasser; es war aber auch vom Eise 2 Fuß dick befroren. An eben diesem Tage mußte ein Schiff, das aus der See kam, gegen den Ostwind eingewarpt (d. h. an einem vorwärts ausgebrachtem Anker in den Hafen gezogen) werden. Der Anker, den man dazu gebrauchte, war, nachdem er eine Stunde im Grunde gelegen hatte, dergestalt mit Eis befroren, daß es nur die Hälfte der gewöhnlichen Kraft bedurfte, um ihn in die Höhe zu bringen.

Aus allen den hier angeführten Erfahrungen folgt mit der größten Evidenz, daß das mit Recht sogenannte Grundeis wirklich auf dem Grunde der bewegten Gewässer sich bilde. Nach fast allen bei diesen Beobachtungen angestellten Temperaturbestimmungen des Wassers hat dieses, wenn sich Grundeis bildet, von der Oberfläche bis zum Grunde eine Temperatur von 0°, also diejenige Temperatur, bei der sich, wenn die übrigen Umstände günstig sind, Eis bilden kann. Aus den oben angeführten Beobachtungen geht aber hervor, daß sich im Wasser von 0° und nahe unter 0° nur dann Eis bildet, wenn der Krystallisationsproceß auf eine geschickte Weise eingeleitet wird, durch eine schwache, nicht alle Theile der Wassermasse gleichstark treffende Erregung, durch Berührung des Wassers mit einem festen, (krystallinischen) Körper. Bei

Digitized by Google

den bewegten Wäſſern, die auf 0° Temp. erkältet ſind, iſt hiernach die Bewegung an der Oberfläche viel zu ſtark, als daß ſich durch dieſe veranlaßt Kryſtalle bilden könnten, ſchwächer dagegen iſt ſie auf dem Grunde der Gewäſſer, und dort finden ſich hervorragende feſte Gegenſtände, die rauhe Flächen darbieten, welche geeignet ſind den Kryſtalliſationsproceß einzuleiten. Wie es übrigens möglich iſt, daß ein bewegtes Waſſer eine durchgehends gleichmäßige Temperatur annehmen könne, da doch bei der verſchiedenen Schwere des Waſſers von verſchiedener Temperatur nothwendig das Waſſer, welches 3°,7 C. Temper. hat, zu unterſt, kälteres aber höher liegen muß, kann allein (und dieß liegt nahe) aus der Bewegung des Waſſers hergeleitet werden, durch welche alle Theile des Waſſers ohnerachtet ihrer (doch immer nur unbedeutend zwiſchen 0° und 3°,7) verſchiedenen ſpecifiſchen Schwere unter einander gemiſcht werden. Die eigenthümliche lockere, ſchwammige Structur des Grundeiſes ſcheint ihren Grund in dem auf dem Grunde der Gewäſſer immer nur geringen Kältegrad zu haben, das von allen Seiten umgebende Waſſer dringt in alle Zwiſchenräume der feinen Eiskryſtalle, und hat das Eis einen gewiſſen Grad der inneren Structur erreicht, ſo zwingt es ſeine gegen das Waſſer geringere ſpec. Schwere zur Oberfläche aufzuſteigen. Zu einer compacteren Maſſe wird es erſt, wie die Erfahrungen lehren, wenn es an die Oberfläche des Waſſers gekommen iſt, theils durch ein mechaniſches Aneinanderdrücken der loſeren Theile, theils durch die hier unmittelbar einwirkende größere Kälte der Atmoſphäre. Das Ablöſen des Grundeiſes vom Boden kann auf mannigfache Weiſe geſchehen, theils durch den Stoß des bewegten Waſſers, theils dadurch daß ſich endlich zu gewaltige Eismaſſen bilden, die ſich vermöge ihrer geringeren ſpecifiſchen Schwere erheben müſſen, indem die Kraft, welche ſie nach oben drängt, diejenige Kraft überwiegt, mit welcher ſie an den feſten Körpern auf dem Grunde des Fluſſes hangen. Iſt die Adhäſionskraft an dieſe ſtärker als die Kraft, welche jene ſelbſt wieder an den Boden feſſelt (Adhäſion oder Schwere), ſo nehmen ſie endlich die Gegenſtände, an welche ſie ſich angehängt haben, mit in die Höhe, wie oben angeführte Beiſpiele beſtätigen.

Die Bildung des Grundeiſes ſcheint geeignet zu ſein, das Gefrieren des Meeres wenigſtens in den Fällen zu erklären, wo Eisbildung im offenen Meere ſtattfindet, alſo nicht an einer Küſte das Eis gebildet, dort abgeriſſen und in das hohe Meer geführt wird. Zwar haben einige Phyſiker, namentlich Buffon, geglaubt, daß das Eis, welches in den Meeren in der Nähe der Pole ſich findet, in den in das Meer mündenden Flüſſen entſtehe, und aus dieſen erſt in das Meer gelange; allein dieſe Anſicht iſt ſchon durch die einzige Thatſache hinlänglich widerlegt, daß Scoresby die Bildung des Meereiſes in der offenen See ſelbſt beobachtet hat. Der Grund zu der Annahme jener Phyſiker war der allerdings merkwürdige Umſtand, daß das Seeeis geſchmolzen nicht ſchmutziges, ſalziges (Meer-) Waſſer, ſondern klares, ſüßes Waſſer gibt. Allein im Allgemeinen iſt es als ein ausgemachter Satz anzuſehen: daß Waſſer, welches andere Stoffe, z. B. Salze, Säuren, Alkohol und dergl. mehr enthält, mit wenigen Ausnahmen ſchwieriger

Digitized by Google

gefriert, und das zwar um so mehr, je mehr es von diesen Beimischungen enthält; wird es aber hinreichend erkältet, gewöhnlich nur das Wasser gefriert und die rückständige Auflösung ist dann um so viel mehr concentrirt. Daher pflegt man auf diese Weise z. B. Essig und Citronensaft zu concentriren. Was näher das Meerwasser betrifft, so erstarrt aus demselben nur salzfreies Wasser, und das zurückbleibende Wasser ist, jemehr sich Eis daraus abgeschieden hat, desto stärker an Salzgehalt, und darum auch weniger geeignet weiter zu frieren. In Schweden und Norwegen bedient man sich daher des Frostes bei der Bereitung des Meersalzes, indem durch denselben ein Theil des Wassers abgeschieden, und ein desto salzreicherer Rückstand gewonnen wird. Zweierlei folgt hieraus: 1) daß eine ungeheure, bis jetzt uns völlig unbekannte Kälte dazu gehörte, um das Meer bis auf den Grund erstarren zu machen, und 2) daß der Unterschied zwischen dem specifischen Gewichte des (salzhaltigen) Meerwassers und des (salzlosen) Eises auf demselben jedenfalls größer ist als der Unterschied der Schwere des süßen Wassers vom Eise, und desto größer, je mehr das Meerwasser concentrirt ist, d. h. je mehr Eis aus demselben sich abgeschieden hat. Dieses wird auch durch die Beobachtungen bestätigt, daß das Wasser des Meeres in der kalten Zone von größerem Salzgehalte und schwerer als das Wasser der Meere in der gemäßigten und der heißen Zone ist. Allerdings hat das Wasser, welches man aus manchem Meereise gewinnt, einen salzigen Geschmack, allein dieses Eis ist dasjenige, welches noch nicht gehörig ausgefroren ist, sondern, indem es in unmittelbarer Berührung mit dem Meerwasser sich befindet, von diesem durchdrungen ist; an den Eisbergen geben daher die unteren vom Seewasser bespülten Theile salziges Wasser, während die oberen süßes Wasser liefern. Wenn man übrigens ein aus dem Meere aufgefischtes Stück Eis aufhängt und bei einer Temperatur von 0° das Seewasser, welches es durchdringt, auslaufen läßt, darauf erst das Eis schmilzt, so erhält man ebenfalls süßes Wasser. Durch künstliche Vorbereitungen kann man zwar auch Salzwasser, ohne daß das Salz ausgeschieden wird, zum Gefrieren bringen, wenn man nämlich geringe Quantitäten desselben einer starken Kälte so aussetzt, daß sie von allen Seiten auf das Salzwasser wirken kann. Man erhält dann ein poröses, undurchsichtiges, grünlich gefärbtes Eis, von ungefähr 0,7 specifischem Gewichte. Wesentlich unterscheidet sich aber von diesem Eise das Eis des Seewassers, welches dem Eise von süßem Wasser gleich, dicht, durchsichtig, hart und brüchig ist, mit scharfen Kanten springt, und nur um $\frac{1}{10}$ leichter als Seewasser in einer Temperatur von 0° ist. Dasselbe ragt in süßem Wasser um $\frac{1}{10}$ seiner Dicke über die Oberfläche empor.

Ehe ich jedoch weiter auf den Ursprung des Meereises eingehe, wird es nöthig sein erst einige Mittheilungen über die Beschaffenheit desselben und die an ihm vorkommenden Erscheinungen zu geben.

Das Meer gefriert nicht allein in den Gegenden um die Pole, in der kalten Zone, sondern es kommen auch zahlreiche Beispiele vor, daß die Meere in den gemäßigten Zonen gefrieren. Im Allgemeinen wird das Gefrieren des Meeres begünstigt durch geringen Salzgehalt,

Digitized by Google

enge Einschließung durch Küsten, geringe Bewegung. Der geringe Salzgehalt, die große Ausdehnung der Küsten, durch welche das Meer zusammengeengt wird, die an sich geringe Bewegung (welche aus der ungewöhnlich schwachen — oder den gänzlichen Mangel von — Ebbe und Fluth zu ersehen ist) vereinigen sich bei der Ostsee, so daß sie wenigstens theilweise schon in mäßigen Wintern gefriert. Die Nordsee dagegen bleibt auch in den kältesten Wintern frei von Eis, weil sie ein offenes Meer mit Ebbe und Fluth ist, und fast noch einmal so starken Salzgehalt als die Ostsee hat. Catteau-Calleville sagt, daß in der Ostsee vom December bis in den April fast alle Häfen, Buchten und kleineren Meerengen mit Eise bedeckt sind. Vorzüglich ist dieses der Fall in den (noch engeren) finnischen und bottnischen Meerbusen. Anfangs bildet sich das Eis längst der Küste hin, besonders zwischen den einzelnen Klippen, dort wird es durch Stürme losgerissen, und die einzelnen großen Eisschollen treiben nun so lange auf dem Meere umher, bis sie durch ihre Menge mehr und mehr an einander gedrängt (denn an den Küsten bildet sich und löst sich immer neues Eis) und durch die Kälte unter einander verbunden werden. So entstehen endlich große Eisfelder, deren Oberfläche gemäß ihrer Entstehungsart sehr uneben ist, und die westlich bis Stockholm, östlich bis zu den Inseln Dagden und Oesel (am Eingange zum finnischen Meerbusen) sich erstrecken. Der Eingang zum bottnischen Meerbusen bei der Insel Aland, der von einer großen Menge kleiner Inseln (die ganze Gruppe heißt auch Aland) und einzelner Felsen bedeckt ist, wo also das Eis sehr viele Punkte, um und an welche es sich festsetzen kann, findet, ist häufig ganz zugefroren. Man kann alsdann zu Schlitten und zu Fuß von Finnland nach Schweden kommen; wie denn im J. 1809 mehrere russische Regimenter auf diesem Wege nach Schweden kamen. In strengeren Wintern gefriert auch der Sund zwischen Kopenhagen und Malmö, und zuweilen wird die Schifffahrt zwischen Helsingör und Helsingborg Tage lang durch die dort sich sammelnden Eisschollen unterbrochen. Gegen die von Einigen ausgesprochene Meinung, als finde ein allmähliges Kälterwerden des Erdkörpers statt, indem derselbe seine Wärme allmählig mehr und mehr ausstrahle, spricht der Umstand, daß in früheren Zeiten das Meer in viel südlicheren Gegenden und häufiger gefroren ist, als gegenwärtig. Im J. 1333 konnte man auf dem Eise von Lübeck nach Preußen und Dänemark reisen, und so anhaltend war der Frost, daß sogar auf diesem Wege Herbergen errichtet waren. Ähnliche Fröste sollen in den Jahren 1399, 1423, 1429 und 1459 gewesen sein. 1408 war das Kattegat gefroren. In den Jahren 860 und 1234 ist das Adriatische Meer so stark gefroren gewesen, daß man zu Wagen nach Venedig kommen konnte, und mehr denn einmal z. B. im J. 1620—1621 hat man in der Meerenge von Constantinopel von Europa nach Asien über das Eis gehen können. Die Alten erzählen, daß zuweilen sogar das schwarze Meer gefroren gewesen sei. Strabo erzählt, daß dann die Umwohner, namentlich am Kimmerischen Bosporus (Meerenge von Kaffa), quer über das Meer in Karren fuhren. Es wird erzählt, Neoptolemos, ein Heerführer des

Digitized by Google

Nikator Eupator habe eine Schlacht mit seiner Reiterei auf derselben Stelle auf dem Eise gewonnen, wo er im vorhergehenden Sommer zu Schiff in einer Seeschlacht gesiegt habe. Auch in neuerer Zeit fehlt es indeß nicht an Beispielen vom Zufrieren südeuropäischer Meere; im J. 1829 soll das Asowsche Meer zugefroren gewesen sein, daß man mit Wagen darüber fahren konnte, und auch das schwarze Meer war an den Küsten (wenigstens an der westlichen Küste bei Odessa) mehre Meilen weit mit Eis bedeckt.

Bei weitem bedeutender ist aber das Eis in den kalten Zonen, das sogenannte Polareis. Die Pole scheinen mit ewigem Eise so gänzlich bedeckt zu sein, daß bis jetzt noch nie ein Mensch einen derselben hat erreichen können. Vielleicht bildet das Eis unmittelbar um die Pole eine weithin fest zusammenhängende Masse, vielleicht ist dort das Meer bis auf den Grund gefroren, vielleicht auch ist mit Eis und Schnee bedecktes Land dort, aber dieß sind nur Vermuthungen; so weit Menschen gekommen sind, bildet das Eis in den Polargegenden einzelne größere oder kleinere, oft ungeheure schwimmende Massen, die auf dem großen Weltmeere oft weit gegen die Wendepunkte zu geschwommen sind, ehe sie durch die Wärme des Wassers und der Luft in südlicheren Breiten völlig geschmolzen sind. Beim Schmelzen verursachen sie dann, indem sie aus der Luft die zu ihrer Existenz als Wasser nöthige Wärme absorbiren, eine empfindliche Kälte, und verursachen dadurch oft kalte Sommer in den Gegenden der gemäßigten Zonen (so 1816 und 1821). Es gibt viele Beispiele, daß Seefahrer in den Meeren der gemäßigten Zonen große aus den Polargegenden stammende Eismassen angetroffen haben. So traf Cook im J. 1772 in 52° südl. Breite eine schwimmende Eismasse, die 2 Seemeilen Umfang und 60 F. Höhe hatte; Frérier begegnete unter 58° südl. Breite und 68° westl. Länge einer Eismasse, die wenigstens 200 Fuß Höhe und ein paar tausend Fuß Länge hatte; in 46° nördl. Breite im Atlantischen Meere traf Beaufort einen Eisberg; Parry trieb noch den 4. Octob. in 44° nördl. Breite südlich von Neufundland drei Tage in Grönländischem Treibeise, und das Packetboot von Halifax traf in 42° Br. ausgedehnte Eisinseln, einige wie es schien von 200 — 250 F. Höhe. Der Capitän Dayment verließ den 19. Jan. 1818 Neufundland unter 47° nördl. Breite und fand sich am Abende dieses Tages von schwimmenden Eismassen umgeben, welche sich die Nacht über so anhäuften, daß am folgenden Morgen selbst vom Mastkorbe aus keine Oeffnung in den Eismassen entdeckt werden konnte. Das Eis hob sich etwa 14 F. über die Oberfläche des Meeres und 29 Tage trieb das Eis mit dem Schiffe in südöstlicher Richtung. Erst am 17. Febr. unter 44°37′ nördl. und 300 Seemeilen östlich vom Vorgebirge Raze entdeckte man eine Oeffnung des Eises in Südost, durch welche das Schiff glücklich entkam.

Nach den verschiedenen Formationen, welche vorkommen, legt man dem Polareise verschiedene Namen bei. In den weit gegen die Pole gelegenen Gegenden kommt das Polareis in sehr großen, weit ausgedehnten, zusammenhängenden Massen vor, welche auf ihrer Oberfläche mehr oder weniger eben sind; diese heißen Eisfelder. Scoresby gibt als gewöhnliche Dicke derselben 24 bis 26 F. an, von denen 4

Digitized by Google

bis 6 F. über die Meeresoberfläche sich erheben. Die Länge dieser Eisfelder soll bisweilen 25 d. Meilen, die Breite etwa halb so viel betragen. Sie treiben entweder frei in der See, oder sitzen an einer Seite an der Küste fest. Wenn das Polareis auf dem Meere schwimmend bewegt ist, und wie schon erwähnt wurde, in die Meere der gemäßigten Zonen treibt, heißt es Treibeis, im Gegensatze zu dem unbewegten Grundeise. Bei diesem Treiben zerschellen sich die Eisfelder in kleinere Massen, Eisflarden; die noch kleineren Eisstücke, welche sich zusammendrängen und vom Winde aufgethürmt werden, heißen Packeis. Eismassen von verhältnißmäßig geringer Länge und Breite, aber bedeutender Höhe, heißen Eisberge.

Das nördliche und südliche Eismeer bieten große Verschiedenheiten dar, so weit man nämlich über das letztere, bis jetzt nur noch wenig bekannte ein Urtheil zu fällen im Stande ist. Die Schifffahrt in diesen Meeren ist wegen des Eises außerordentlich gefährlich, und auch hiervon abgesehen, würde vermuthlich die Kälte jener Gegenden allein schon im Stande sein, ein Vordringen des Menschen bis zu den Polen unmöglich zu machen. Indeß findet man doch innerhalb der Polarkreise noch Land und wenigstens innerhalb des nördlichen Polarkreises sogar noch bewohntes Land. Innerhalb des südlichen Polarkreises hat der russische Kapitän Bellinghausen unter dem 69 bis 70. Grade südl. Br. zwei Inseln entdeckt, von denen er die eine die Insel Peter I., die andere die Insel Alexander I. nannte; diese sind das einzige innerhalb des südlichen Polarkreises liegende Land, welches man bis jetzt kennt. Süd-Shetland unter 62° südl. Br., also noch außerhalb des südlichen Polarkreises wird als ein gänzlich unbewohntes und unbewohnbares Land geschildert, und Cook fand schon unter 49, 50 und 51° S. Br., als er im December und Januar 1772 dort war (zur Zeit, wo dort Mitte des Sommers ist), festsitzende Eisberge auf der hohen See. Hieraus darf man indeß noch nicht schließen, daß das Eismeer um den Südpol noch mehr Eis führe und sich weiter erstrecke als das um den Nordpol; Weddel drang im Gegentheil unter 34°16′ westl. Länge bis zu 74°15′ südl. Breite vor, und fand dort ein überall von Eisfeldern freies Meer, welchem er den Namen König Georg IV. See gab. Wenn die Eisbildung durch Küstenstrecken begünstigt wird, so läßt sich vermuthen, daß das südliche Eismeer weniger als das nördliche mit Eise bedeckt sei. Dieses hat sehr weit ausgedehnte Küsten. Die ganze Nordküste von Asien mit großen Inseln (Nowa Semlja, Neu Sibirien), die nördlichste Spitze von Europa (Lappland mit dem Nordcap), der Norden von Amerika mit Grönland und den Ländern an der Behringsstraße liegen innerhalb des nördlichen Polarkreises bis über 75° nördl. Breite, und Spitzbergen erstreckt sich bis unter 80° nördl. Breite, und alle diese Länderstrecken bieten wenigstens theilweise bewohnbares und bewohntes Land dar. Die Grenze des nördlichen Eismeeres scheint ehedem eine andere gewesen zu sein, als sie jetzt ist. Denn die Ostküste Grönlands, welches so viel als grünes Land heißt (ein Name, der auf eine Vergangenheit zeigt, in der eine minder strenge Kälte herrschend war, als jetzt), war seit 983

Digitized by Google

von einer dänischen Colonie bewohnt, die um den Anfang des 15. Jahrhunderts aus 190 Dörfern, einem Bischof und zwei Klöstern bestand. Im J. 1406 wollte ein neuer Bischof aus Norwegen dahin reisen, er fand aber die Küste so durchs Eis unzugänglich geworden, daß es dem Schiffe, das ihn führte, unmöglich war zu landen. Seitdem scheint das Eis zwischen Grönland und Island immermehr zugenommen zu haben, so daß es erst in neuesten Zeiten Scoresby geglückt ist die Ostküste Grönlands wieder zu bereisen, wo derselbe allerdings frische Spuren von Einwohnern gefunden hat. Amerika ist in gleicher Entfernung vom Pole von bei weitem kälteren Klima als Europa und Asien. Parry überwinterte im J. 1819 vom 26 Sept. an auf der Melville Insel unter 74°45′ nördl. Breite und 267°45′ östl. Länge, fror mit seinen Schiffen gänzlich ein, und konnte erst Anfang August 1820 wieder absegeln. Nach Scoresby geht gegenwärtig die südliche Grenze des Polareises vom südlichsten Vorgebirge Grönlands in nordöstlicher Richtung empor, umfaßt Island und erhebt sich nach der Insel Jan-Magen (unt. 71° N. Br.) Von hier geht sie östlich und durchschneidet zwischen 71° und 72° die Mittagslinie von London; 8 bis 10 Längengrade weiter östlich wendet sie sich plötzlich nach Norden, geht bis zu 80° hinauf, wendet sich dann südöstlich und setzt nun ihren Weg in dieser Richtung bis zu Nowa Semlja und Sibirien fort. An der Ostküste von Nordamerika geht sie überall viel weiter herab.

Die Eisfelder bilden sich nach Scoresby's Beobachtung im nördlichen Eismeere zwischen Spitzbergen und dem Nordpole durch das Gefrieren der See, ohne daß ein festes Land dem Eise als Ansetzpunkt zu dienen braucht. Scoresby beobachtete die Eisbildung in einer Entfernung von etwa 20 Stunden von Spitzbergen. Nicht einmal die Wellen sind im Stande die Eisbildung zu verhindern. Es entstehen erst kleine Krystalle, wodurch endlich das Wasser wie von einer Art von Schlamm überzogen wird, so daß es wie mit Schnee vermischt erscheint, wodurch die Oberfläche des Meeres auf eine ähnliche Art beruhigt wird, wie wenn Oel auf dieselbe gegossen wird. Diese Erscheinung erinnert an das Gefrieren der Ströme durch Grundeis, welches sich in größerer Menge ansammelt. Scoresby erzählt, daß sich die Krystalle allmählig in kleine Schollen vereinigen, welche durch die Bewegung des Meeres gehindert, nur einen Durchmesser von etwa drei Zoll annehmen können, wie diese aber nach und nach dicker werden, erlangen sie auch die Fähigkeit sich unter einander zu größeren Flächen zu vereinigen. Durch den Wellenschlag und die gegenseitige Reibung runden sie sich ab und erhalten einen aufstehenden scharfen Rand, weswegen die Seeleute sie Pancakes d. h. Pfannkuchen nennen, die größten haben mehr als 1 F. Dicke und einen Umfang von mehren Klaftern. Bei ruhiger See bildet sich eine Eisdecke, die von unten her an Dicke zunimmt, und in 12 bis 24 Stunden zwei bis drei Zoll stark wird, nach 48 Stunden einen Menschen zu tragen im Stande ist. Bedenkt man nun wie anhaltend der Frost in den Gegenden der kalten Zone ist, wie hierzu noch eine große Masse von Schnee kommt, die sich während der 9 Wintermonate aufhäuft, zuweilen durch wärmere

Digitized by Google

Witterung so weit schmilzt, daß sie wie ein Schwamm von Wasser durchzogen ist, und durch den nächsten Frost dann in Eis verwandelt wird, wie durch Wind und Wogen Wasser über die Oberfläche des Eises hingeschleudert wird, welches ebenfalls bald gefriert; so begreift man, wie sich jene unermeßlichen Eisfelder bilden können, von denen die Seefahrer erzählen. Manche Eisfelder bieten eine völlig ebene Oberfläche dar; Scoresby beschreibt z. B. ein Eisfeld, auf dem nach seiner Versicherung ein Wagen mehr als 100 engl. Meilen ohne den geringsten Anstoß hätte hinfahren können. Häufig erblickt man aber auf den Eisfeldern und Eisflarden auch zahlreiche Höcker (Hummaks), die zuweilen eine Höhe von mehr als 30 Fuß erlangen und dem Polareise eine auffallende Gestalt geben, indem ihr blendender Glanz durch das Zurückprallen einer ausnehmend zarten grünen Farbe gehoben wird, welche durch die inneren kleinen Höhlungen des Eises erzeugt wird. Diese Höcker haben ihren Ursprung theils von kleineren Eismassen, welche namentlich bei Stürmen durch das Meer mit den Wellen auf die Eisfelder geschleudert werden, theils von Schnee, der durch die Winde aufgehäuft wird und nachher zu Eis erstarrt.

Einen noch großartigeren Anblick als die Eisfelder gewähren die Eisberge, indem die Größe ihrer Masse wegen der geringeren Ausdehnung in die Breite, aber desto bedeutenderen in die Höhe stärker in's Auge fällt. Es gibt deren nach den Berichten der Seefahrer, welche eine Höhe von 1500 bis 1800 Fuß haben. Je nachdem der Unterschied der spec. Schwere des Eises und des Seewassers, in dem es schwimmt, größer oder kleiner ist (die spec. Schwere des Seewassers wird durch den Salzgehalt desselben modificirt), ragen diese Eisberge mehr oder weniger über die Oberfläche des Wassers empor, meist der achte, zehnte, zuweilen nur der zwölfte Theil von der ganzen Höhe. Denis erzählt, daß von den Eisbergen, welche im Sommer nach Neufundland unter den 46 bis 50 Grad nördl. Breite (ungefähr in gleicher Breite mit Paris) aus dem Eismeere getrieben werden, und die also durch die Sonnenstrahlen und die Wärme des Wassers schon bedeutend geschmolzen sind, viele die Höhe der größten Thürme erreichen. Man erblickt dieselben daher aus einer großen Entfernung von 15 bis 18 franz. Meilen, und zugleich machen sie sich durch die Kälte, welche sie um sich verbreiten, bemerkbar. Diese Kälte rührt nicht von einer Ausstrahlung derselben aus den Eismassen her, sondern vielmehr hat sie ihren Grund darin, daß die Eisberge beim Schmelzen der umgebenden Luft die Wärme entziehen (s. oben S. 43.) Im südlichen Eismeere erblickte Forster Eisberge von 2000 F. Länge, 400 F. Breite und 200 F. Höhe. Noch bedeutender sind die Eisberge, welche Scoresby sah. Der größte Eisberg, welcher demselben an der Küste Grönlands vorkam, hatte ungefähr 3000 F. Umfang, eine viereckige Gestalt eine regelmäßige Oberfläche, die ungefähr 20 F. über den Wasserspiegel emporragte, während ungefähr 160 F. noch unter Wasser stehen mochten; er bestand aus dem dichtesten Eise und konnte 40 Millionen Zentner wiegen. In der Davisstraße aber kamen Eisberge vor von 12000 F. Länge, 4000 F. Breite, mit Hörnern und Spitzen von mehr als 100 F. Höhe, wonach man rechnen kann, daß noch wenigstens 500 F. unter

Digitized by Google

Waſſer ſtanden; ebene Maſſen fanden ſich, die 180000 Qu. F. Oberfläche hatten und 150 F. über die Oberfläche des Meeres emporragten, dabei in 90 bis 100 Klaftern tiefem Waſſer bis zum Grunde ſich erſtreckten, und die über 40000 Millionen Zentner wiegen mußten. Wedell ſah auf ſeiner Reiſe nach dem Südpole Eisberge von 250 F. Höhe über dem Waſſer und 2 Meilen Länge. Unter 70°34′ nördl. Br. begegnete Parry einem Eisberge, der an den meiſten Seiten ſenkrecht in die Höhe ſtieg und deſſen Oberfläche eine Ebene bildete. Die Länge dieſes Berges betrug 12507 engl. F., die Breite 10640, die Höhe über dem Waſſer durchſchnittlich 51 engl. F., woraus man auf eine Dicke der ganzen Maſſe von 367 F. ſchließen kann. Hieraus ergiebt ſich ein körperlicher Inhalt von über 48000 Millionen Cubikfuß Eis, und ein Gewicht von 25840 Millionen Zentnern. Nach Parry's Berechnung könnte man mit einer ſolchen Eismaſſe 3505 engl. Flächenmeilen 6 Zoll hoch mit Eis belegen. Die Anzahl dieſer Eisberge in den Polargegenden iſt unermeßlich; ſo ſah Cook an einem Tage um ſich her 186 Eismaſſen, von denen keine kleiner als ſein Schiff war, und Roß zählte am 10 Juni 1818 in der Baffinsbai unter 70° nördl. Br. nur auf einer Seite des Horizonts gegen 700 Eisberge. Hier ſcheinen die Eisberge beſonders zahlreich zu ſein, zahlreicher als in der Nordſee; woraus man ſchließen möchte, daß ſie mehr in der Nähe des Landes ſich bilden, während die Eisfelder vermuthlich in der offenen See ſich bilden.

Denkt man ſich eine ſolche Menge ſo ungeheuerer Maſſen, wie die Eisfelder und Eisberge ſind, auf dem ſtets unruhigen Elemente, in dem ſie ſich befinden, wohl gar noch durch Stürme in Bewegung geſetzt, ſo kann man einen Begriff ſich machen von den Gefahren, denen die Seefahrer in den Eismeeren ausgeſetzt ſind. Die Eismaſſen werden häufig mit einer ungeheuren Gewalt gegen einander geſtoßen. Scoresby ſagt: „Man denke ſich eine im ſchnellen Laufe aufgehaltene Maſſe von vielleicht 10000 Millionen Tonnen an Gewicht! Das ſchwächere Eisfeld wird unter ſchrecklichem Getöſe gänzlich zerſtört. Ungeheure Maſſen werden über einander hingeſchoben, bei 20 oder 30 Fuß hoch, andere gänzlich verſenkt. Der Wallfiſchfänger, obſchon er ohnehin in ſteten Gefahren lebt, muß doppelt wachſam ſein, wenn die Umſtände ihn nöthigen zwiſchen bewegten Eisfeldern hindurchzuſchiffen, und wenn vollends noch neblige Witterung ihn hindert ihre Richtung genau wahrzunehmen. Es iſt einleuchtend, daß auch das ſtärkſte Fahrzeug dem Gegenſtoße zweier Eisfelder eben ſo wenig zu widerſtehen vermöge, als ein Blatt Papier eine Flintenkugel in ihrem Laufe aufhalten könnte. Aller angewandten Vorſicht unerachtet gehen viele Schiffe zwiſchen dieſen Maſſen zu Grunde; bald werden ſie auf das Eis hin und umgeworfen; bald wird der Boden des Schiffes abgeriſſen, zuweilen werden ſie unter Eistrümmern begraben". Um nur Ein Beiſpiel von der Art der Gefahren in den Eismeeren zu geben, führe ich einen Fall an, welchen Scoresby erzählt. „Das holländiſche Schiff Wilhelmine hatte am 22 Brachmonat 1777 in der gewohnten Fiſchfang-Station und in Geſellſchaft der Geſammtflotte von Whalers (Wallfiſch-

Digitized by Google

fängern) vor einem Eisberge angelegt. Am 25. fand sich dasselbe durch das Eis eingeschlossen und festgehalten. Die Matrosen arbeiteten 8 Tage lang, um in den Eisberg einen Hafen einzuschneiden, der dem Schiffe Sicherheit gewährte. Am 25. Heumonat brach das Eis und die Wilhelmine ward vier Tage lang mit unendlicher Mühe durch Fahrzeuge ostwärts geschleppt. Vier andere Schiffe trafen wieder mit ihr zusammen; aber bald wurden sie alle aufs neue vom Eise eingeschlossen. Ohne eine sichtbare Bewegung des Schiffes erblickte jedoch die Mannschaft nach einiger Zeit die Küste von Alt-Grönland ungefähr unter dem 75. Grade (die Schiffe hatten gegen das Eis stille gelegen, aber mit diesem sich fortbewegt). Am 15. August waren 9 Schiffe beisammen, von denen am 20. durch einen furchtbaren Sturm, welcher das Eis bei dreißig Fuß hoch um sie heranhäufte, zwei strandeten, und vier andere ein paar Tage später dasselbe Schicksal hatten. Am 24. nahm man die Küste von Island wahr; man glaubte jetzt einige Bewegung des Eises zu bemerken (der einzelnen Eismassen unter einander), und hoffte auf Rettung; diese Hoffnung ward getäuscht. Am 7. Herbstmonat ging wieder ein Schiff zu Grunde, und am 14. ward die Wilhelmine selbst durch den Einsturz einer großen Eismasse zertrümmert, und es geschah dieß so plötzlich und unerwartet, daß die Matrosen, welche zu Bette lagen, kaum Zeit hatten, sich halbnackend auf das Eis zu flüchten. Jetzt war noch ein einziges Schiff übrig, das die gerettete Mannschaft der fünf übrigen aufnahm. Am 11. des Weinmonats ward das Schiff vom Eise zerrissen und sank unter. Durch diesen schrecklichen Unfall wurden drei bis vier hundert Personen halb nackend und fast ohne Nahrungsmittel der Strenge der Witterung auf dem Eise preisgegeben. Am 30. October trennten sich die Unglücksgefährten. Die Mehrzahl suchte das Land zu erreichen; die übrigen blieben auf dem Eisfelde, das sie bis gegen Hatenhoeck hinführte, wo sie dem Beispiele ihrer Kameraden folgten. Einhundert und vierzig ungefähr waren so glücklich, über Land die Westseite der dänischen Kolonien zu erreichen. Der Ueberrest, nahe an 200, ging zu Grunde."

Die großen Eismassen haben indeß für die Seefahrer auch vielfachen Nutzen. Oefters haben sie wie in dem eben mitgetheilten Falle den Unglücklichen, welchen ihr Schiff zu Grunde gegangen war, eine Zuflucht und Rettung gegeben. Sehr oft werden sie, wie ebenfalls die obige Erzählung lehrt, von den Schiffern als Ankerplätze benutzt und sie eignen sich hierzu sehr wohl, weil sie den besten Schutz gegen den Wind und namentlich gegen das Treibeis gewähren, nur müssen die Ankerplätze dann immer so gewählt werden, daß das Treibeis durch die vor dem Schiffe liegende Eismasse abgehalten wird, also auf der dem Winde abgewendeten Seite. Ein anderer Nutzen entspringt den Seefahrern aus dem Umstande, daß das Eis des Meeres kein Salz enthält. Im Sommer sammelt sich nämlich auf den Eisfeldern das Wasser, welches durch das Schmelzen des Eises entsteht, in kleinen Teichen an, die Schiffer bringen nun, wenn sie sich mit Süßwasser versehen wollen, das eine Ende eines Schlauches von Tuch in die

Digitized by Google

Waſſeranſammlung auf dem Eisfelde, füllen den Schlauch, und laſſen das Waſſer durch das andere Ende in die am Fuße der Eismaſſe auslaufen. Beim Anlegen der Schiffe an Eismaſſen kommen oft große Unglücksfälle vor, das Einhauen einer Axt iſt zuweilen hinreichend, große durch die ganze Eismaſſe gehende Sprünge zu bewirken, wobei dann gewöhnlich durch die Erſchütterung große Maſſen Eis herabſtürzen, und nicht ſelten das Boot oder Schiff zertrümmern oder verſenken.

Ein Hilfsmittel für die Seefahrer ſich im Voraus vom Herannahen von Eismaſſen und von deren Beſchaffenheit, ſo wie auch mit Eis und Schnee bedeckten Landes, zu belehren, iſt der ſogenannte Eisblink, eine Erſcheinung, die in einem weißlichen, lebhaften, mannigfach ſchattirten Lichte oder Glanze beſteht, welcher beim Nahen von Eismaſſen am Horizonte erſcheint und wahrſcheinlich von einer ungewöhnlichen Strahlenbrechung herrührt, welche durch die verſchiedenartige Temperatur der über dem Eis, Schnee und Waſſer liegenden Luftſchichten bewirkt wird. Die Seeleute, welche die mannigfachen Schattirungen in dieſem Eisblinke recht zu deuten verſtehen, können darnach die geeigneten Maßregeln treffen, um den etwaigen Hinderniſſen vorzubeugen oder auszuweichen. So erzählt Scoresby: „den — erſchien der Eisblink am Horizont mit ſo genauen Umriſſen, daß er uns eine vollſtändige Karte von allem Eiſe und dem darin vorhandenen offenen Waſſer auf 20 bis 30 Meilen rund umher darſtellte. Die Zurückwerfung der Lichtſtrahlen war ſo ſtark und ſo genau, daß ich füglich die Geſtalt und muthmaßliche Größe aller größeren und kleineren Eisfelder innerhalb dieſer Grenze beſtimmen, und ſowohl dickes als lockeres Treibeis an dem dunklern und weniger gelben Scheine unterſcheiden konnte; während jede Waſſerader und jeder See durch ein tiefes Blau oder einen ſchwarzblauen Fleck mitten in dem Eisblink bezeichnet war. Hierdurch wurde ich in den Stand geſetzt, zu erkennen, wo das meiſte Waſſer wäre und was für Hinderniſſe ich dort antreffen würde.“ Derjenige Eisblink, welcher durch mit Schnee bedecktes Land verurſacht wird, zeichnet ſich durch eine gelbere Farbe von dem von Eisfeldern aus.

Das Polareis gewährt nach den Beſchreibungen der Seefahrer einen höchſt intereſſanten Anblick, und gibt ſo den troſtloſen Polargegenden einen Reiz, der einigermaßen den Mangel aller derjenigen Schönheiten erſetzt, welche das Auge in den gemäßigten und der heißen Zone erfreut. Kant ſagt: „das muthwilligſte Farbenſpiel entzückt; die blendende ſtechende Weiße des Schnees wechſelt dort mit einem völlig durchſichtigen Kryſtall, der ganz wie ein Prisma wirkt und im hellen Scheine der Sonne alle Regenbogenfarben um ſich ſtreut. Oft, gemeiniglich gegen die Oberfläche der See, iſt das Eis von einem ſchönen Saphir- oder vielmehr Berylblau gefärbt u. ſ. w.“ Außer durch Farbenpracht ergötzt der Anblick des Polareiſes durch die ſonderbarſten, auffallendſten Geſtaltungen, von denen Scoresby eine lebhafte Beſchreibung giebt: „Eine dieſer Eismaſſen glich einer rieſenhaften menſchlichen Figur in der Stellung des Theſeus in der El-

Digitized by Google

giuschen Sammlung. Der Umriß des Kopfes war in der That auffallend; das Auge, die Stirn, der Mund mit einem Knebelbarte versehen, waren deutlich ausgedrückt. Solche Aehnlichkeiten in den Gestalten der unendlich mannigfaltigen Eismassen in den Polarmeeren sind gar nicht selten. In einigen Fällen gehört sie zu erkennen eine lebhafte Einbildungskraft dazu, in anderen ist sie so hervortretend, daß sie auch ein weniger aufmerksamer Zuschauer nicht verkennen kann. — — Solche wunderbare Formen kommen am häufigsten im Treibeise vor, das an den Rändern des festen Polareises sich hinbewegt, und vorzüglich in denjenigen Massen desselben, in welchen ungeheure Blöcke und Klumpen durch den gewaltsamen Druck, den sie auf einander ausüben, auf besondere Grundlagen gehoben werden. Hier werden sie dann bei starken Winden und hohen Wellen vom Seewasser bespült, das immerfort an ihnen nagt und reibt und wäscht. — — Die gewöhnlichste Form dieser scheinbaren Kunstwerke ist indeß die eines Tisches mit einem Fuße, der vollkommen walzenförmig und senkrecht, und einem Obertheile, das genau wagerecht ist. Die Art ihrer Entstehung ist nicht schwer zu begreifen. Durch das Wasser wird das Eis, wenn das Meer etwas bewegt, aber nicht unruhig ist, dicht an der Oberfläche weggewaschen, und der obere Theil desselben gleichsam unterminirt, wodurch sich also nach und nach eine Tischplatte bildet. Bei den gelegentlichen Umdrehungen des Eises, denen die kleineren Stücke beständig unterworfen sind, wird es von allen Seiten abgerieben, und so entsteht allmählich ein walzenförmiger Fuß. Was aber die anderen Arten von Figuren anbetrifft, so läßt sich ihre Entstehung nur vom Zufall ableiten, der bei der unendlichen Mannigfaltigkeit von Gestalten, die er im Polareise erzeugt, auch einige von regelmäßiger Art hervorbringt. Ueberdieß verdient bemerkt zu werden, daß nur sehr wenige dieser merkwürdigen Eisgebilde ihr charakteristisches Ansehen in allen Stellungen, die man gegen sie annimmt, behaupten; die meisten haben vielleicht nur aus einem einzigen Standpunkte betrachtet etwas Ausgezeichnetes. Auch hängt die Aehnlichkeit großentheils von den Umrissen ab, indem das von der Oberfläche zurückstrahlende Licht bei der glänzenden Weiße der Eismassen manche Mängel zudeckt, und das Auge verhindert, die Ungleichheiten wahrzunehmen."

Noch muß eine Erscheinung erwähnt werden, die auf dem Meere sowohl, als auch auf Flüssen (nur selten auf stehenden Gewässern) vorkommt, und welche den Seefahrern oft sehr unangenehm und gefährlich wird, der Frostdampf. Wenn nämlich das Wasser eine 10° bis 14° R. höhere Temperatur als die umgebende Luft hat, so entsteht eine starke Verdunstung, welche zu heftig ist, als daß die Luft die Wasserdämpfe vollkommen zu absorbiren vermöchte, woraus folgt, daß sich der Wasserdampf verdichtet und als ein Nebel über dem Wasser schwebt. Am stärksten ist dieser Frostdampf bei stark bewegtem Wasser, daher bei heftigem Winde, dann erreicht er auf dem Meere oft eine Höhe von 80 bis 100 Fuß, und setzt sich an das Tauwerk des Schiffes und an alle Hervorragungen wie der Reif an. Bei wolkenlosem Himmel und trockener Witterung kommt er häufiger als bei

feuchtem Wetter und bedecktem Himmel vor. Die unteren Theile der Schiffe werden durch ihn in Finsterniß gehüllt, während man von der Höhe des Mars aus Schiffe in einer Entfernung von 5 bis 6 Seemeilen und eine hohe Küste 10 bis 15 Stunden weit erkennen kann. Eine ähnliche Erscheinung auf dem festen Lande ist der Frostnebel.

Aus dem Vorhergehenden geht in Bezug auf die Entstehung des Eises im Meere mit Gewißheit hervor, daß es keineswegs in dasselbe erst aus den Flüssen, wie Buffon meinte, geführt wird, sondern daß es sich in dem Meere selbst wenigstens größtentheils bildet. Nach Scoresby kann man das Süßwassereis von dem Salzwassereis dadurch unterscheiden, daß das letztere in dem Wasser schwärzlich erscheint, in der Luft aber von einer weißen oder grauen Farbe, porös, und, außer wenn es sehr dünn ist, undurchsichtig ist, das Süßwassereis dagegen, wenn es in kleinen Stücken im Wasser schwimmt, durch sein schwarzes Ansehen und außerhalb des Wassers durch seine Durchsichtigkeit, durch Härte und Sprödigkeit sich auszeichnet. Die Eisfelder und Eisflarden bilden sich höchst wahrscheinlich im Meere selbst, auch da wo sich das Eis nicht an Küsten ansetzen kann, die Eisberge dagegen scheinen ihren Ursprung an Küsten zu haben. Hierfür spricht besonders der Umstand, daß man häufig Eisberge findet, welche auf ihrer Oberfläche mit Steinen, Erde, Holz und dergl. bedeckt sind. Aehnliches findet auch bei den Gletschern des festen Landes statt (s. d. Folg.). Berücksichtigt man noch das eigenthümliche Fortrücken der Gletscher (s. d. Folg.), so wird man zu der Erklärung geführt, daß die Eisberge ursprünglich Gletscher sind, die sich an den Küsten des Meeres gebildet haben, allmählig weiter und weiter, endlich ins Meer hinein vorgerückt sind, und nachdem sie zu schwer geworden, um sich auf dem nachgiebigen Elemente im Zusammenhange mit der Küste und dem übrigen Gletscher zu halten, losgebrochen sind. Ist dann das Meer in der Nähe der Küste nicht tief, so senkt sich der Eisberg bis auf den Grund, und durch neues Vorrücken der Gletscher können so immer neue Eisberge abgesetzt werden. Ist das Meer dagegen tief, so schwimmt der Eisberg auf ihm und wird von dem Winde und den Strömungen getrieben. Die Erfahrungen der Seefahrer stimmen hiermit überein. Andere Eisberge scheinen aber offenbar durch das Uebereinanderthürmen von größeren und kleineren Stücken zertrümmerter Eisfelder und Eisflarden entstanden zu sein, die dann durch abwechselndes Thauen und Frieren, durch Bespülen mit Wasser, welches nachher friert, unter einander verbunden worden sind. Daraus kann man dann sich erklären, warum sich oft bei dem geringsten Anstoß große Theile der ganzen Masse ablösen und herabstürzen. Forster fand im südlichen Eismeere viele Eismassen, welche sichtlich aus verschiedenen Schichten übereinander gethürmten Eises bestanden. Eine andere Erklärung der Entstehung der Eismassen im Meere, welche aber von den neuern Physikern verworfen wird, gibt Peron. Derselbe behauptet nämlich, daß sich das Eis auf dem Grunde des Meeres bilde, ja daß der Grund des Meeres mit ewigem Eise bedeckt sei, und daß Bruchstücke von diesem sich losrissen, und an die Oberfläche sich erhöben. Er stützt sich

Digitized by Google

hierbei auf die Thatſache, daß die Temperatur des Meeres überall nach dem Grunde zu abnehme. Dieſe Erklärung ſtimmt ganz mit den Erfahrungen über die Bildung des Grundeiſes, auch das Erſcheinen von Steinen u. dgl. auf der Oberfläche der Eisberge wird daraus erklärt, denn dieſe können von den Eismaſſen eben ſowohl vom Meeresgrunde mit heraufgeführt worden ſein, wie in den oben S. 50. angeführten Fällen das Grundeis bedeutende Laſten an die Oberfläche des Waſſers hob.

Aehnliche große Eismaſſen wie auf dem Meere bilden ſich auch auf dem feſten Lande in den Gebirgen, auf deren Höhen die Temperatur nie oder ſelten und nur um wenige Grade über den Gefrierpunkt ſteigt, ich meine die Gletſcher, wie ſie in der Schweiz heißen, oder Jökul, wie man ſie in Island nennt. In Graubündten heißen dieſe Eismaſſen Wader, in Tirol Ferner oder Firne, in Salzburg und Kärnthen Kees. Sie kommen in allen Hochgebirgen vor, und um ſo häufiger je höher die Gebirge ſind und je mehr dieſelben gegen die Pole zu liegen; am bekannteſten ſind bei uns aber die Gletſcher der Alpen, wo ſie faſt alle Hochthäler erfüllen. Nur wenige dieſer Gletſcher haben eine Länge von weniger als einer Stunde, viele dagegen ſind 6 und 7 Stunden lang und $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden breit bei einer Dicke von 100 bis 600 Fuß. Je höher man über die Oberfläche der Erde hinauf kommt, deſto kälter wird es, überall über der Erde gibt es einen Punkt, wo der Thermometer bis auf 0° ſinkt, während er weiter nach der Oberfläche der Erde zu über dieſen Grad ſteigt, und weiter von ihr entfernt unter denſelben ſinkt. Nur die Entfernung dieſer Grenze von der Erde iſt (abgeſehen von den Verſchiedenheiten an jedem einzelnen Orte, welche durch den Wechſel der Jahreszeiten bedingt wird) ſehr verſchieden, indem jene Grenze je näher den Polen deſto näher der Oberfläche der Erde kommt, am Aequator aber am weiteſten von ihr entfernt iſt. Die hohen Berge erheben ſich bis in die Regionen, wo der Thermometer unter 0° ſteht. Alle atmoſphäriſchen Niederſchläge, welche auf die niedrigen Gegenden der Erdoberfläche als Regen, Thau herabſtrömen, müſſen ſich daher auf den Bergen in einer den Eispunkt überſteigenden Temperatur als Schnee ablagern. Hohe Berge ſind deßwegen mit ewigem, d. h. niemals thauendem Schnee bedeckt; nur diejenigen Felsſpitzen (Nadeln und Hörner), welche faſt ſenkrechte Abhänge bilden, laſſen den Schnee nicht an ihrer Oberfläche haften, und ragen daher als ſchwarze Spitzen über die umgebenden Schneemaſſen empor. Da dieſe Schneemaſſen auf den Gebirgen ſich fortwährend vermehren, ſo müſſen ſie ſich endlich ſo ſehr anhäufen, daß ſie durch ihre eigene Schwere über die Abhänge der Berge herab gedrängt werden und in die Zwiſchenthäler zwiſchen den einzelnen Bergen herabſinken, und bilden ſo in dieſen die ſogenannten Schneebänke. In den niedrigen Gegenden angelangt werden die Schneemaſſen, die ſich im Winter durch unmittelbares Herabfallen des Schnees aus der Atmoſphäre noch vermehren, in den wärmeren Jahreszeiten von der Hitze zum Theil geſchmolzen, aber ihre Größe hindert eine völlige Verwandlung derſelben in Waſſer. Der mit Waſſer durchzogene Schnee gefriert nun im nächſten Winter zu Eis, und ſo verwandeln ſich durch auf einander folgende Sommer

Digitized by Google

und Winter in den tiefer liegenden Gebirgsgegenden die Schneebänke allmählig in Gletscher. Das Eis der Gletscher unterscheidet sich von dem Eise der Gewässer wesentlich durch sein Gefüge. Während nämlich dieses eine feste spröde Masse ist, ist das Gletschereis locker und biegsam. Es besteht nämlich aus einer Menge einzelner kornartiger Stücke, welche einige Zoll Länge und Dicke und die verschiedenartigsten Formen haben, untereinander aber so zusammengefügt sind, daß sie sich nach Art von Gelenken verschieben lassen, ohne daß man sie anders als durch Zertrümmerung der umliegenden Stücke abtrennen kann. Die Ursache dieser auffallenden Construktion ist die große Menge von Luft, welche in dem Schnee enthalten ist, aus welchem die Gletscher sich bilden, und die durch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stückchen beim Gefrieren des Schnees von unten entweicht. Diejenigen Theile der Gletscher dagegen, welche durch die Sonnenwärme stark angeschmolzen worden sind, welche mit dem durch das Schmelzen entstandenen Wasser in Berührung stehn: Spalten, Kanten, Ecken, Spitzen u. dgl., bestehen aus festem, sehr durchsichtigen, hellgrünen Eise. Die Seiten der Gletscher haben gewöhnlich unter den Sand- und Grieshaufen ein schwarzblaues festes Eis. Im Ganzen gewähren die Gletscher mannigfaltige in allen Farben spielende Farbenerscheinungen, welche durch die verschiedenartige Lage der Flächen gegen die auffallenden Lichtstrahlen erzeugt werden. Die Gletscher haben eine fortwährende Zunahme und Abnahme; Zunahme durch den immer aufs neue theils aus der Atmosphäre, theils aus den höhern Berggegenden herabkommenden Schnee, der sich wieder auf die beschriebene Art in Eis umwandelt; Abnahme durch das Schmelzen des Eises durch die Sonnenhitze und mehr noch durch die Wärme der Erde, auf welcher sie ruhen. Daher kommt es einmal, daß bei zunehmender Schwere der Gletscher immer tiefer durch seine Schwere über die geneigte Ebene der Berge und Thäler herabsinkt, vorschreitet, und zweitens, daß der Gletscher das geschmolzene Wasser von sich gibt, welches in Form eines Baches aus ihm heraus strömt. Beim allmähligen Herabsinken drängt der Gletscher Steingerülle und Erde vor sich her, woraus sich endlich ein Damm bildet, der ihn eine zeitlang aufzuhalten im Stande ist, bis er durch die zunehmende Schwere des Gletschers weiter fortgestoßen und vergrößert wird. Solche Dämme heißen franz. Moraine; sie erreichen oft eine Höhe von 100 Fuß. Ist die Abnahme des Gletschers stärker als seine Zunahme, so muß natürlich erst ein Stillstehen des Gletschers, dann ein Rückschreiten (Kleinerwerden) desselben stattfinden, und man findet zuweilen Steindämme, welche zeigen wie weit ehemals der jetzt kleinere Gletscher vorgeschritten war. Während die Schneebänke ein hellglänzendes Weiß zeigen, erscheinen die Gletscher grau, weil von den nicht mit Schnee bedeckten Abhängen des umliegenden Gebirges Schmutz und Staub auf die Gletscher herabfällt, und durch das abwechselnde Thauen und Frieren eng mit der Oberfläche verbunden wird. Häufig sieht man auf den Gletschern auch größere Felsmassen und Steine liegen, welche zum Theil in geordneten Reihen auftreten, als hohe und lange Steinhaufen in Gestalt von Grabhügeln,

Digitized by Google

oft in parallelen Linien neben einander hinlaufend. Sie heißen Gufferlinien, und man glaubte sonst, diese Steinmassen würden aus dem Innern des Gletschers herausgestoßen. Ihre Entstehung kann die sein, daß von den umliegenden Bergabhängen nach und nach immer mehr Steine in derselben Richtung herabgerollt, und daher auch in derselben Richtung auf dem Gletscher sich festgesetzt haben; vielleicht auch sind es ehemalige Gletscherränder, die vom Gletscher bei seinem Vorrücken gehoben worden sind, indem vielleicht ein entgegenstehender ebenfalls vorrückender Gletscher oder eine Erderhebung, an die sie sich lehnten, einen Gegendruck ausübte, so daß sie nicht weiter vor dem Gletscher hingeschoben werden konnten. Noch merkwürdiger erscheint der Umstand, daß diese Steinmassen in der Regel nicht unmittelbar auf der Oberfläche des Gletschers liegen, sondern unter sich einen Eisdamm haben, doch ist auch hiervon der Grund leicht einzusehen. Indem nämlich die Sonne auf die Oberfläche des Gletschers wirkt, sie schmilzt und dadurch verringert, kann sie die unter den Steinmassen liegenden Theile des Gletschers nicht erreichen, diese also werden nicht weggeschmolzen, während die umliegende Gletscherfläche sinkt. Für diese Erklärung spricht auch der Umstand, daß diejenige Seite der Eisdämme, welche während der Zeit der größten Wirksamkeit der Sonnenstrahlen in den Schatten der Steindämme fällt, weniger steil abzufallen pflegt, als die entgegengesetzte Seite. Auf den Aargletschern sah man eine hohe regelmäßige Pyramide von Eis über die anliegende ebene Oberfläche des Gletschers emporragen und auf ihrer Spitze einen breiten Felsblock liegen. Diese Erscheinung wird indeß nur dann auftreten können, wenn die Steinmassen oder die einzelnen Felsstücke so dick sind, daß sie die Wirkung der Sonnenwärme von den unter ihnen liegenden Steinen des Gletschers abzuhalten im Stande sind. Kleinere Steine werden dagegen von den Sonnenstrahlen so durchaus erwärmt, daß sie das unter ihnen liegende Eis zerschmelzen und in dasselbe nach und nach hinabsinken, so entstehen Löcher, die sich mit Wasser aus dem geschmolzenem Eise erfüllen. Es gibt Gletscher, welche vollkommen über ihre ganze Oberfläche von herabgestürzten Felsmassen und Steingerülle bedeckt sind, so daß sie vom Auge durchaus nicht zu erkennen sind, und ihr Dasein nur durch den aus ihnen hervortretenden Gletscherbach angezeigt wird.

Die Oberfläche der Gletscher ist bald mehr bald weniger eben, je nachdem die Fläche, auf welcher der Gletscher ruht, mehr oder weniger abschüssig ist; zugleich hängt daher die Beschaffenheit der Oberfläche mit dem Fortschreiten des Gletschers zusammen. Auf bedeutenden Abhängen sind die Eisbänke zersprengt, über einander geschoben, und geben die auffallendsten Gestaltungen, auf minder steilen Abhängen erscheint der Gletscher wie ein im heftigen Wogen plötzlich erstarrtes Meer, auf Ebenen endlich oder nur sehr unbedeutend herabsteigenden Flächen ist die Oberfläche eben, und nur an wenigen Stellen geborsten. Temperaturveränderungen bringen durch die Ausdehnung des Eises beim Gefrieren oder durch die Wasserbildung bei Thauwetter, welche ein Fortrücken des Gletschers zur Folge hat, hervor, daß der Gletscher vielfache, nach allen Richtungen gehende, oft bedeutend breite Spalten er-

hält, welche bis zum Grunde des Gletschers, also in eine sehr bedeutende Tiefe hinabreichen. Diese Spalten bilden sich mit einem heftigen Krachen oder Knallen, wie das des einschlagenden Blitzes, welches im Sommer (eben wegen des Thauwetters) häufiger als im Winter gehört wird. Fällt über diese Spalten frischer Schnee, so können sie hierdurch den Augen oft gänzlich entzogen werden, und leider nur zu häufig ereignet es sich daher, daß Wanderer in sie hinein stürzen, und dann in der Regel rettungslos verloren sind. Diese Spalten zeigen in ihrem Inneren eine dunkelblaue Farbe, während an allen Vorragungen, Ecken, Spitzen und Rändern ein prächtiges Meergrün erscheint. Aus den Spalten bläßt sehr häufig ein eisig kalter heftiger Wind, welcher feine Eistheilchen mit sich führt, und so den Anblick eines Schneegestöbers hervorbringen kann. Man nennt diese Erscheinung das Gletschergebläse; sie entsteht von der Luft, welche im Innern des Gletschers zusammengepreßt ist, und durch jede sich darbietende Oeffnung zu entweichen strebt, um so mehr, da theils durch die gewaltige Last der oberen Schichten auf die unteren, theils durch den Prozeß des Gefrierens, bei dem Ausdehnung eintritt, ein fortwährender Druck stattfindet.

Es ist schon oben im Allgemeinen der Abnahme der Gletscher durch die Gletscherbäche gedacht worden. Diese bilden sich aus denjenigen Wassersammlungen in den Spalten, Vertiefungen, Höhlen der Gletscher, in welchen das geschmolzene Wasser sich anhäuft. Die einzelnen kleinen Bäche, welche dieses Wasser führen, streben nach den tiefsten Stellen des Gletschers, kommen daher endlich an diesen zusammen, und ergießen sich gemeinschaftlich als ein kleiner Fluß. Ueber diesem hat sich im Gletscher gewöhnlich ein Eisgewölbe gebildet, oft von beträchtlicher Tiefe und Höhe, welches seine Form und Größe indeß mit dem Abnehmen und Zunehmen der Stärke des Gletscherbaches ändert. Die Gletscherbäche strömen am schwächsten im Winter, am stärksten dagegen im Frühling und Sommer, wovon natürlich die Wärme die Ursache ist. Ihr Wasser hat eine weißblauliche Farbe, die es erst einige Meilen von seinem Ursprunge, nachdem andere Bäche mit dem Gletscherbache sich vereiniget haben, verliert.

Das Vorrücken der Gletscher bewirkt große Umgestaltungen derjenigen Gegenden, welche sich in der Nähe dieser Eismassen befinden. Es geschieht keineswegs ein Jahr eben so stark wie das andere, sondern nach Maßgabe der Nässe und Wärme des Sommers. In warmen nassen Sommern, wo der Boden des Gletschers sehr schlüpfrig wird, rutscht dieser natürlich weiter herab als in weniger warmen, rauhen Sommern. Am Bosson-Gletscher im Chamounithale hat man vom August 1815 bis zum Juli 1816 ein Fortschreiten von 50 Fuß beobachtet; Charpentier gibt sogar an, daß in 3 Jahren ein Fortschreiten um 1048 F. stattgefunden habe. Häufig kommt es vor (wie erzählt wird, namentlich in den Pyrenäen), daß fruchtbare Gegenden, üppig grünende Weideplätze von den Gletschern nach und nach gänzlich bedeckt werden. Es ist indeß gewiß, daß sich in tieferen wärmeren Gegenden diese Eislagerungen nicht auf die Länge halten können, daß dem-

Digitized by Google

nach jeder Gletscher seine natürliche Grenze habe, bis zu welcher er vorrücken kann, von wo aber im Allgemeinen (denn ungewöhnlich rauhe Winter und Sommer können hier leicht Ausnahmen bewirken) nur ein Rückschreiten desselben stattfinden kann. Henderson will an den isländischen, und Bomare an den norwegischen Gletschern eine eigentliche vor- und zurückgehende Bewegung wahrgenommen haben. So soll nach dem erstgenannten Beobachter das Eisfeld bei Yustedal zuweilen in Zeiträumen von 30 bis 60 Jahren in die Thäler in seiner Nähe vorzurücken fortfahren, und dabei bis zur Tiefe von mehreren tausend Fuß bersten; wenn es aber darauf in seine frühere Lage zurückkehre, sollen sich diese Spalten so schließen, als wenn sie nie existirt hätten. Nach der Natur der Sache und der Mehrzahl der Beobachtungen scheint jedoch ein eigentliches Zurückkehren der Gletscher nicht stattzufinden, sondern nur ein Kleinerwerden derselben durch Schmelzung; die Spalten können zugedrückt werden, sobald der untere Theil des Gletschers zum Feststehen gekommen ist, während der Druck der Schwere der übrigen Theile des Gletschers und nachschiebender Massen die hinteren und oberen Theile des Gletschers vorwärts treibt.

Die größten Verheerungen können durch Gletscher auf directe und indirecte Weise angerichtet werden, wenn ein Theil des Gletschers durch sein Uebergewicht, oder weil der Gletscher bei seinem Vorrücken an einen steilen Abhang gekommen ist, herabstürzt. Einen derartigen Unglücksfall theilt Horner mit. Er ereignete sich im Frühjahr 1818 und traf das Bagnethal in Wallis an der südlichen Grenze der Schweiz. Die Abstürze des hohen Getrozgletschers hatten die Thalverengung, durch welche die Drance abfließt, ausgefüllt, und das Wasser zu einem großen See aufgestauet, dessen plötzlicher Durchbruch durch das ganze Thal hinunter die gräßlichsten Verwüstungen anrichtete, indem in weniger als einer halben Stunde mehr als 530 Millionen Kubikfuß abflossen. Im folgenden Jahre 1819 den 27. December richtete das Herabstürzen der Spitze des Weißhorn-Gletschers aus einer Höhe von 9000 Fuß auf das Dorf Randa an der Visp, directere Weise großes Unheil an. Die Eismasse schlug zuerst auf den unteren Theil des Gletschers, wobei sich ein heller Lichtschein in der Dunkelheit zeigte, und zerstörte dann das Dorf nicht sowohl durch Verschüttung, als vielmehr durch den Sturmwind, welchen die herabfallende Masse dadurch erzeugte, daß sie die Luft, durch welche sie herabstürzte, in eine ihrer großen erlangten Geschwindigkeit proportionale Bewegung versetzte*). Der Sturmwind war so groß, daß er Mühlsteine mehre Klaftern weit fortrückte, und in großer Entfernung die stärksten Lerchenbäume mit der Wurzel ausriß. Der herabgestürzte Schutt bedeckte die

*) Muncke (nach dessen Angabe obige Mittheilung gegeben ist) bemerkt hierbei: Hätte das Eis seine volle Geschwindigkeit erlangt, die angegebene Höhe als richtig angenommen, und diese der Luft mitgetheilt, so würde dieselbe 740 F. in einer Secunde betragen haben, während der stärkste Orkan 150 Fuß schwerlich erreicht.

Digitized by Google

unter dem Dorfe liegenden Länder und Wiesen in 2400 Fuß Länge, 1000 F. Breite und im Mittel wenigstens 150 F. Höhe, sein Inhalt betrug also 360 Millionen Kubikfuß. Aehnliche Stürze fanden 1636, 1736 und 1786 statt, doch nicht an derselben Stelle, und die beiden letztgenannten waren geringer.

Immer in einer ansehnlichen Höhe über der Meeresfläche befinden sich, aber unter allen Eisgebilden am seltensten, die Eishöhlen. Aehnlich den in vielen Höhlen vorkommenden Tropfsteinbildungen sind die Wände, Decken und Böden dieser Höhlen mit den auffallendsten und prachtvollsten Eisgebilden angefüllt, welche besonders beim Fackelschein einen um so herrlicheren Anblick gewähren, je durchsichtiger und klarer das Eis ist. Sartori erzählt von der Eishöhle am Brandsteine in der sogenannten Gems in Steyermark: »je weiter wir hinabkamen, desto interessantere Scenen thaten sich unsern Blicken auf. Auf allen Seiten strömte der Widerschein unserer Lichter von dem Eise zurück, und wie die Augen von dem Scheine derselben geblendet zu werden aufhörten, so stellten sich denselben die Säulen, die Schäfte, die Knäufe, die Pyramiden und die Cylinder dar, die hier von dem Eise gebildet worden. Es ist, als ob man in den Ruinen einer gothischen Kirche wandelte, als ob ein Feenpalast mit funkelnden Sternen vor uns geöffnet worden sei. Hier bildet das Eis eine Aiguille (Nadel), dort einen stumpfen Hügel; hier scheint sich ein Gletscher geformt zu haben, dessen Sprünge und Klüfte den besorgten Wanderer herauf angähnen; dort hat sich das Eis in der schönsten Draperie von einer Höhe herabgelassen, als ob ein Schleier die Geheimnisse der Natur verhüllen sollte. Links und noch weiter im Hintergrunde findet man in lebloser Erstarrung Wasserfälle und Cascaden, die im Augenblicke des heftigsten Sturzes und der schäumendsten Brandung ergriffen und in Eis verwandelt zu sein scheinen. Ganze Eisberge drängen sich hintereinander vor, und wenn man mit Vorsicht über einen Eishügel, der die vordere Höhle von der hinteren trennt, hinüber geklettert ist, dann erst glaubt man in die Paläste der Najaden oder in die Prunkgemächer des Königs der Gnomen hinabgestiegen zu sein. Wenn man dieser letzten Höhle, die ziemlich tief hineingeht, nahe kommt, sieht man in derselben nichts als das ungewisse Graudunkel, das aus derselben hervordämmert; ist man aber mit einem Lichte hineingetreten, so spielt der Schimmer desselben auf dem glänzenden Eise bald blaue, bald grüne, bald gelbe Farben, und die ganze Höhle scheint entflammt von dem Scheine des Lichtes.—" Bei dieser, so wie bei mehren anderen Eishöhlen scheint es gewiß zu sein, was schon längst die Bewohner der Gegenden, in welchen dieselben vorkommen, versichert haben, daß nämlich die Eisbildung im Sommer und zwar in den heißesten Tagen am stärksten sei, während im Winter das Eis in den Höhlen gänzlich oder doch zum Theil schmelze, und das Wasser durch unterirdische Kanäle abgeleitet werde, wie man auch in mehren Eishöhlen, z. B. in der eben beschriebenen gefunden hat. Von der Eishöhle bei Szilicze wird ausdrücklich bemerkt: daß im heißesten Sommer die Menge des Eises am größten sei. Dann erfolgt das Gefrieren des herabträufelnden Wassers so

Digitized by Google

schnell, daß da, wo heute nur schwache Zapfen hangen, morgen große Massen wie Tonnen oder den Einsturz drohende Felsenstücke zu sehen sind. Wird dagegen die Wärme durch Winde oder Regen gemäßigt, so geht das Gefrieren langsamer von statten, und das Eis fängt an zu schmelzen. — Bei Ablauf des Sommers wird die Höhle mit Annäherung des Winters immer wärmer; wenn außen die Flüsse zu gefrieren anfangen, thaut hier das Eis auf, und im December ist die Höhle völlig trocken und so warm, daß ganze Schwärme von Fliegen und Mücken, Fledermäusen und Nachteulen, auch wohl Hasen und Füchse hier ihr Winterquartier aufschlagen.

Der Grund dieser auffallenden Erscheinung liegt darin, daß die Kälte in den Höhlen durch Verdunstung erzeugt wird. Wie in dem oben S. 41. beschriebenen Experimente die schnelle Absorption des verdampfenden Wassers durch die Schwefelsäure das Wasser in Eis verwandelte, so wird auch hier in heißen Tagen, wo die Luft mit Begierde und in großem Maße Feuchtigkeit auffaugt, ein Theil des herabträufelnden Wassers verdampft, und dieser Verdampfungsprozeß geht so schnell von statten, daß dadurch eine Kälte erzeugt wird, welche das noch unverdampfte Wasser erstarren macht, indem alle Wärme der Höhle bald verbraucht ist, um die Umwandlung des Wassers in Dampf zu bewirken. Im Herbst und Winter ist die Luft wenig oder gar nicht geneigt Dämpfe schnell in sich aufzunehmen, daher nimmt in den Eishöhlen auch die Verdunstung ab und hört endlich gänzlich auf, es wird also auch keine Kälte mehr durch Verdunstung erzeugt, die Luft in den Höhlen nimmt diejenige Temperatur an, welche der mittleren Wärme des Berges in derjenigen Höhe entspricht, in welcher sich die Höhle befindet. Diese ist aber gewöhnlich höher als 0° und so hört nicht allein das Gefrieren auf, sondern das Eis in der Höhle thaut sogar. Damit sich in einer feuchten Höhle Eis durch Verdunstung bilden könne, muß die Oeffnung derselben die geeignete Lage und Größe haben. Sie muß nicht so liegen, daß warme Winde in die Höhle eindringen können, denn diese würden den ganzen Prozeß vernichten, zugleich muß sie eine Größe haben, welche im Verhältniß zur Größe der Höhle gerade hinreichend ist, um den Dampf, in den sich ein Theil des Wassers in der Höhle verwandelt, schnell der äußeren Luft zuzuführen. Die meisten der bekannten Eishöhlen haben die Oeffnung der Höhle gegen Nord oder Ost gerichtet. Die meisten, wo nicht alle Eishöhlen senken sich ferner von ihrer Mündung nach Unten, welches zur Folge hat, daß die warme Luft, welche sich stets über der kalten lagert, nicht tief in sie eindringen kann. Außer den beiden erwähnten sind noch folgende Eishöhlen bekannt, und größtentheils näher untersucht: Die Eishöhle zu Besançon (mit 31 Toisen Senkung bis zum Eise), die von St. George (25 F. tief), die auf dem Berge Vergi*), die Grotte von Fondeurle (200 F. tief), das Schafloch am Rothhorn im Canton Bern u. a.

*) Auch hier fanden Bauern in den Monaten October und November das Eis in steter Abnahme, und im December Wasser statt Eis.

Digitized by Google

Da es etwas sehr angenehmes ist im Sommer Eis zu haben, um kühlende Getränke damit zu bereiten, und um Fleisch und andere Speisen länger aufbewahren zu können, die in der Hitze schnell verderben, so ist man bedacht gewesen, was die Natur im Großen in den Eishöhlen geschaffen hat, im Kleinen nachzuahmen, indem man Gruben anlegt und sie im Winter mit Eis füllt, welches sich dann den Sommer über erhält. Um Eisgruben aufs geeignetste anzulegen, wählt man am passendsten erhöhte Orte, führt bis zur eigentlichen Grube einen längeren, gekrümmten Gang, welcher mit mehreren Thüren versehen ist, damit die Wärme nicht einzudringen vermöge, legt die Grube selbst noch tiefer an als den Eingang, und richtet diesen gegen Osten oder Norden. Bei den Eisgruben kommt es nur darauf an Eis zu erhalten, nicht zu erzeugen (wie in den Eishöhlen), daher braucht die Verdunstung nicht befördert zu werden, sondern muß sogar abgehalten werden. Die Wände der Höhle werden mit schlechten Wärmeleitern (Bast, Schilf, Stroh) bekleidet, damit die Wärme desto schwerer durch den Erdboden zum Eise Zugang habe. Damit das dennoch entstehende Wasser ablaufen könne, müssen Abzüge angebracht sein.

Eisen ist ein unedles Metall, wohl das nützlichste unter allen Metallen, indem es zu Verfertigung der unentbehrlichsten Geräthschaften verwendet wird, in der Medicin als eines der kräftigsten stärkenden und adstringirenden Heilmittel äußerlich und innerlich, in den Künsten zum Malen, Färben u. s. w. und zu technischen und ökonomischen Zwecken vielfach angewendet wird. Auch schon die Alten kannten dasselbe, allein es war bei ihnen, weil es selten gediegen vorkommt, bei weitem weniger in Gebrauch als bei uns. Uebrigens kommt es (in Verbindung mit anderen Stoffen) sehr häufig in der Natur vor, fast alle Mineralien finden sich mehr oder weniger mit Eisen verbunden, und sogar im Thierreiche und Pflanzenreiche kommt es vor.

Gediegenes Eisen ist, wie gesagt, sehr selten, und wo es vorkommt, ist es in der Regel meteorischen Ursprunges; die meteorischen Massen nämlich bestehen völlig aus gediegenem Eisen, oder enthalten das Eisen in kleineren Theilchen eingesprengt — die eigentlichen sogenannten Meteorsteine. Berzelius führt indessen an, daß man bei Canaan in den Nordamerikanischen Freistaaten einen zwei Zoll breiten Gang von gediegenem Eisen in Chloritschiefer gefunden habe. Es soll mit Graphitblättern durchsetzt und auf beiden Seiten auch mit solchen eingefaßt sein. Sein spec. Gericht variirt angeblich zwischen 5,95 und 6,71. Beim Auflösen hinterläßt es 0,06 bis 0,07 Graphit; es enthält Quarz eingesprengt, scheint aber sonst kein Metall zu enthalten. Seit 1828 hat man in Ural namentlich bei Nischne-Tagilsk Platinkörner gefunden, welche so reich an Eisen sind, daß sich der größte Theil davon in Salpetersäure auflösen läßt, und man dieselben als gediegenes Eisen betrachten kann. (Vergl. d. Art. Platin.)

Am reichlichsten findet sich das Eisen im oxydirten Zustande (mit Sauerstoff) und mit Schwefel verbunden als Kies. Die Mineralien, aus denen das Eisen vortheilhaft durch Schmelzen und Reinigen ge-

Digitized by Google

wonnen wird, heißen Eisenerze. Das beste Eisen wird aus denjenigen dieser Erze gewonnen, welche am wenigsten andere Metalle, Schwefel und Phosphor enthalten; es sind diejenigen, welche in Urgebirgen vorkommen, wo sie gewöhnlich mächtige Lager bilden. Nach Berzelius gehören zu diesen im Allgemeinen diejenigen Eisenerze, welche in Schweden zur (bekanntlich sehr starken) Eisengewinnung angewandt werden. Sie sind der Magneteisenstein und der Eisenglanz. Der erstere ist theils selbst magnetisch, theils wird er vom Magnet angezogen; ist schwarzgrau, metallisch glänzend, eine chemische Verbindung von Eisenoxydul und Eisenoxyd. Der Eisenglanz kommt theils in glänzenden, harten, stahlgrauen, krystallinischen Stücken vor, theils in Schuppen, die beim Zerreiben ein rothes Pulver geben, und besteht hauptsächlich aus Eisenoxyd. Von anderen Eisenerzen führt Berzelius noch an: den Rotheisenstein, eine weniger dichte Varietät des Eisenoxyd's von rother oder braunrother Farbe, theils zerreiblich und abfärbend, theils dichter in nierenförmigen Massen von concentrisch-faserigem Gefüge (Blutsteine); der Brauneisenstein, Eisenoxydhydrat, theils in braunen nierenförmigen Massen mit faserigem Gefüge (die reineren Arten), theils als derbe braune Massen von glattem glänzenden Bruche vorkommend, gewöhnlich mehr oder weniger mit Thon gemengt, als braune und gelbe Thoneisensteine; der Raseneisenstein (Sumpf-, Moraſt-, Wiesenerz), der sich auf Lagern im aufgeschwemmten Lande in Gestalt derber, löcheriger, gelber oder bräunlicher Massen findet, ein Eisenoxydhydrat, welches durch mehre fremde Beimischungen, namentlich durch Phosphorsaures Eisenoxyd, verunreinigt ist; der Spatheisenstein, ein auf Gängen vorkommendes krystallinisches Eisenerz von gelblich weißer oder bräunlicher Farbe, welches aus kohlensaurem Eisenoxydul besteht. Auch jüngere namentlich Steinkohlenformationen (z. B. in England) und vulkanische Gegenden liefern reichlich Eisen, welches aber dem nachsteht, welches aus Urgebirgen gewonnen wird.

Um aus den Erzen das Eisen zu gewinnen, werden dieselben geröstet, dann verschiedene Erze untereinander gemengt, welches die Gattirung heißt, und auf dem durch die Erfahrung gelehrten Umstand beruht, daß gewisse Gemenge leichter flüssig sind, und ein besseres Eisen geben. Zu den gattirten Erzen wird Kalkstein gesetzt, wodurch beim Schmelzen die fremden Metallstoffe der Erze, welche die Vereinigung des reducirten Eisens hindern würden, verglast und Schlacken gebildet werden, auch verschiedene Stoffe abgeschieden werden, welche dem ausgeschmolzenen Eisen schlechte Eigenschaften geben würden. Dieses Gemenge, die Beschickung, wird nun mit Kohlen in den Hohofen zur Schmelzung geschichtet, so nämlich daß eine Lage Kohlen mit einer Lage des Gemenges abwechselt. Der Hohofen ist ein großer Schmelzofen, der in seiner inneren Form die Gestalt zweier übereinander umgestürzter Tiegel hat, von denen der obere keinen Boden hat. Die eigentliche Schmelzung geht in dem unteren Theile vor sich, wo sich auch das geschmolzene Metall und die Schlacke ansammeln. Im Boden dieses Heerdes ist an der Seite eine Oeffnung, welche während des Schmel-

Digitized by Google

zens mit Sand verstopft ist, die aber nachher aufgestoßen wird, und dem geschmolzenen Eisen zum Ablaufen dient. Eine andere Oeffnung etwas über dem Heerde und auf der entgegengesetzten Seite dient zur Lufteinführung. So wie die Kohlen niederbrennen, senkt sich die Masse, und demgemäß werden von oben immer neue Schichten Erz und Kohle in den Hohofen gebracht. Die Schlacke, welche sich in größerer Menge als das reducirte Eisen ansammelt, muß von Zeit zu Zeit abgelassen werden. Sobald sich die gehörige Menge geschmolzenes Eisen gesammelt hat, wird es durch die erwähnte Oeffnung abgelassen. Es läuft in Rinnen, die in den Sand der Hüttensohle geformt sind, wo es zu sogenannten Gänzen (Gänsen) oder Flossen erstarret. Das auf diese Art erhaltene Eisen heißt Gußeisen oder Roheisen, und enthält noch sehr viel Kohlenstoff, auch Schwefel, Phosphor, Kiesel, Mangan, Magnesium u. s. w. Um diese von dem Eisen mehr abzuscheiden, wird das Roheisen wiederholt mit Kohle erhitzt (das Frischen) und dann unter großen, durch Wasser getriebenen Hämmern geschmiedet, wobei die Schlacke, welche der Eisenmasse mechanisch beigemischt ist, ausgepreßt wird. So erhält man das Stabeisen, Schmiedeeisen. Auch dieses ist keineswegs von allem Kohlenstoffe befreit, nach Berzelius enthält das am besten bereitete Stabeisen noch $\frac{1}{2}$ proc. Kohlenstoff und etwa einen halben Tausendtheil Kieselerde. Der Kohlenstoffgehalt ist dem Eisen indeß zu seiner Benutzung mehr förderlich als nachtheilig, indem er dasselbe härter macht. Ganz reines Eisen ist zu biegsam und zu leicht abnutzbar, als daß es zu denjenigen Zwecken vortheilhaft benutzt werden könnte, zu denen man des Eisens sich zu bedienen pflegt. Andere Substanzen, wenn sie dem Eisen beigemengt sind, ertheilen demselben dagegen höchst nachtheilige Eigenschaften, und lassen sich meist nur sehr schwer oder gar nicht aus der Verbindung mit dem Eisen scheiden. So wird das Eisen durch Verbindung mit Schwefel, Phosphor, Arsenik und Kupfer rothbrüchig, d. h. es zerfällt beim Rothglühen, wenn es mit dem Hammer geschlagen wird, in Stücken. Enthält das Eisen Phosphor, so läßt es in der Hitze zwar sich behandeln, bricht aber, sobald es nach der Abkühlung gebogen wird, man nennt es daher kaltbrüchiges Eisen.

Zur Gewinnung völlig reinen Eisens gibt Berzelius die Regel: man muß Eisenfeile mit $\frac{1}{4}$ ihres Gewichtes schwarzem Eisenoxydul mengen, das Gemenge in einen hessischen Tiegel legen und mit einem Pulver von grünem Glase bedecken, oder am besten aus einem Glase, welches man aus metallfreien Materialien selbst bereitet hat, worauf der Tiegel verkittet und einem 1stündigen, mit Coaks unterhaltenen Gebläsefeuer ausgesetzt wird. Berzelius fügt noch die Bemerkung bei, daß man lange geglaubt habe, reines Eisen lasse sich nicht schmelzen, daß er selbst aber gut geflossene Könige von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Pfund Gewicht sah, welche Broling in seinem Laboratorium geschmolzen hat. Dieses reine Eisen ist von einer silberähnlichen weißen Farbe, sehr zähe und weicher als gewöhnliches Stabeisen. Gutes Stabeisen ist von hellgrauer Farbe, körnig-faserigem Gefüge und hakigem Bruche, 7, 788 specifischem Gewichte. Die bedeutende Zähigkeit ist stärker oder schwä-

Digitized by Google

cher, je nach der größeren oder geringeren Reinheit. Nach v. Sickingen erfordert ein Eisendrath von $\frac{1}{2}$ Linie Dicke zum Zerreißen ein Gewicht von 60 Pfund. Besonders geeignet zur Verarbeitung wird das Eisen durch den Umstand, daß es bei einer Temperatur unter der seines Schmelzpunktes sich erweicht. Bei schwacher Weißglühhitze läßt es sich schweißen, d. h. abgesonderte Stücke lassen sich durch Hämmern vereinigen. Zu dem Zwecke werden die zusammenzuschweißenden Enden zweier Eisenstücke weißglühend gemacht, mit feinem Sande bestreut, zusammengelegt und gehämmert; dabei wird dann die vom Sande gebildete Schlacke herausgetrieben und die metallischen Flächen beider Eisenstücke haften fest an einander. Durch die Eigenschaft vom Magnet angezogen zu werden, und selbst magnetisch zu werden, zeichnet sich das Eisen vor allen übrigen Metallen und Substanzen aus. Nur noch Nickel und Kobalt haben ähnliche Eigenschaften, doch aber in geringerem Grade. Reines, kohlenfreies Eisen verliert schon in gewöhnlicher Lufttemperatur die magnetische Kraft, ein geringer Zusatz von Kohlenstoff hält sie für längere Zeit fest, und im Stahl (welcher Eisen mit noch größerem Kohlenstoffgehalt ist) hält sie sogar eine bedeutende Hitze aus. Rothglühhitze zerstört im Allgemeinen die Polarität, besonders (nach Berzelius), wenn die magnetische Axe rechtwinklich gegen den magnetischen Meridian gelegt wird. Auch die Verbindungen des Eisens mit Phosphor, Schwefel, Sauerstoff u. a. nehmen eine Vertheilung des Magnetismus an, und behalten sie, so daß sie wie Magnete wirken. Sie müssen dabei jedoch nicht mit der größten Menge, welche sie von diesen Stoffen aufzunehmen im Stande sind, verbunden sein, denn im letzteren Falle verlieren sie sogar alle magnetische Empfindlichkeit. Die natürlichen Magnete sind Eisenerze mit Eisenoxydul.

Aus den Oxyden des Eisens kann das Eisen vor dem Löthrohre hergestellt werden. Auch kann man reines Eisen im höchst fein zertheilten Zustande dadurch gewinnen, wenn man chemisch reines Eisenoxyd in einer (gläsernen) Röhre bis zum schwachen Glühen erhitzt und trockenes Wasserstoffgas darüber leitet, bis sich kein Wasser mehr bildet. Der Sauerstoff des Oxyds verbindet sich dann mit dem Wasserstoffgase, und das Eisen bleibt in Pulverform zurück. Diese Reduction des Eisens geht schon bei einer Temperatur vor sich, welche noch unter dem Kochpunkte des Queckſilbers liegt, und bei welcher noch kein Glühen stattfindet. Nimmt man das Metall, nachdem es im Wasserstoffgase erkaltet ist, aus demselben heraus und bringt es an die Luft, so entzündet es sich und verbrennt. Ein gleiches ist mit Kobalt und Nickel der Fall. Magnus, der diese Erscheinung zuerst beobachtet hat, leitet sie von dem fein porösen Zustande des auf die angegebene Weise gewonnenen Metalles ab, wodurch es die Eigenschaft erhält, wie die Kohle Gase aufzusaugen und in seinen Zwischenräumen zu condensiren, wobei das Metall in dem höchst fein zertheilten Zustande durch die unbedeutende Temperaturerhöhung entzündet wird. Magnus ließ das Metall nach der Reduction in Wasser fallen, verdampfte dasselbe bei gelinder Wärme; das Metall entzündete sich als es trocken zu werden anfing. Hieraus sieht man, daß die Entzündung nicht dadurch haupt-

Digitized by Google

sächlich herbei geführt wird, daß das in den Poren des Metalles enthaltene Wasserstoffgas durch dieses die Disposition mit dem Sauerstoffe der Luft sich zu verbinden erhält. Wurde nach der Reduction das Wasserstoffgas durch Kohlensäuregas ausgetrieben, ehe man das Eisen herausnahm, so fand Magnus (wie Berzelius mittheilt), daß sich das Eisen nicht entzündete, weil das Kohlensäuregas in einem weit größeren Verhältnisse als Luft absorbirt wird, und bei Aussetzung des Eisens an die Luft, diese folglich das Kohlensäuregas austreiben mußte, welches langsam und mit Erniedrigung der Temperatur vor sich geht. Magnus fand indeß, daß wenn oxalsaures Eisen bei der gelindesten Hitze, die hierzu erforderlich ist, zersetzt wird, metallisches Eisen und Kohlensäuregas gebildet werden, und daß dieses metallische Eisen, nachdem man es in dem dabei gebildeten Gase erkalten gelassen hat, dessen ungeachtet sich entzündet, so wie es an die Luft gebracht wird. Aber dieses Eisen (sagt Berzelius) muß pröser und feiner zertheilt sein, als dasjenige, welches durch die Reduction des Oxyds erhalten wird, und muß also auch leichter entzündlich sein als letzteres. Wenn man das Metall aus dem Oxyd bei Glühhitze reducirt, so verliert es seinen fein pröfen Cohäsionszustand und damit die Fähigkeit an der Luft sich zu entzünden, es behält denselben indeß, wenn das Oxyd gleichmäßig mit einer geringen Quantität eines anderen Körpers gemischt ist, so daß dieser die Zusammensinterung des Eisens hindert.

Das Eisen oxydirt sehr leicht in feuchter Luft, es rostet. Man kann es nach Berzelius dagegen bewahren, wenn es mit einem in Leinöl oder Hanföl eingetauchten Lappen so lange gerieben wird, bis die Oberfläche des Metalles trocken erscheint. Das Eisen wird hierdurch mit einer Schicht von trockenem Oel überzogen, welches die Oxydation hindert. Auch alkalische Flüssigkeiten hindern die Oxydation, so daß man sogar eiserne Gegenstände in Wasser aufbewahren kann, welche 0,05 seines Gewichtes kohlensaures Kali oder Natron aufgelöst enthält. Der Rost ist ein Gemenge von kohlensaurem Eisenoxydul und Eisenoxydhydrat. Bei gewöhnlicher Temperatur findet in trockner Luft keine Oxydation statt, wohl aber bei höherer Temperatur. In der Rothglühhitze wird es von einer schwarzen Oxydrinde überzogen, dem sogenannten Hammerschlag oder Glühspahn, und in der Weißglühhitze verbrennt es unter Umhersprühen leuchtender Funken. Diese heftige Verbrennung des Eisens sieht man am schönsten im Sauerstoffgase (s. d. Art.) In atmosphärischer Luft entzündet sich aber auf ähnliche Weise ein dünner Eisendraht, wenn man ihn erst in einer Lampe bis zur Weißglühhitze erhitzt und dann schnell aus der Flamme herausnimmt. Die wichtigeren chemischen Verbindungen des Eisens sind nun Folgende;

Mit Sauerstoff verbindet sich Eisen: 1, zu Eisenoxydul welches aus 1 Mischungsgewicht Eisen und 1 Mischungsgewicht Sauerstoff besteht. Rein ist es nur schwierig darzustellen, und man kennt es nur in seinen Verbindungen mit Wasser und Säuren. Zu diesen gehört das Eisenoxydulhydrat und die Eisenoxydulsalze. 2, zu Eisenoxyduloxyd, Eisenmohr. Dasselbe findet sich natürlich

Digitized by Google

als Magneteisen, und bildet sich beim Rothglühen (Hammerschlag) und Weißglühen des Eisens. Das Magneteisen krystallisirt in Octaëdern, ist von eisenschwarzer Farbe und 5,4 spec. Gewicht. Alles Eisenoxyduloxyd wird vom Magnet gezogen, und ist öfters selbst Eisen ziehend. Mit Wasser und Säuren gibt es ein Hydrat und Salze. 3, zu Eisenoxyd, Eisensafran findet sich natürlich in stahlgrauen oder eisenschwarzen Krystallen, deren Kernform ein Rhomboëder ist (Eisenglanz) oder in strahlig oder faserig krystallinischen und dichten Massen von braunrother Farbe (Rotheisenstein), und hat 5 bis 5, 22 spec. Gewicht. Das künstliche ist ein braunrothes Pulver, das beim Hitzen vorübergehend dunkler wird. Es ist geschmacklos und im Wasser nicht löslich, auch nicht magnetisch. Mit Wasser gibt es Eisenoxydhydrat, mit Säuren Eisenoxydsalze. —

Vom Eisenoxyd wird mannigfaltige Anwendung gemacht. Man wendet es als Farbe sowohl im Zustande von Hydrat (Ocher) an, als auch calcinirt. In Schweden ist es Sitte die hölzernen Häuser damit anzustreichen, indem es das Holz vor Verwesung bewahrt. Ein schönes Polirpulver (welches man nicht zu schlämmen braucht) erhält man nach Faraday, wenn ein Theil gerösteter Eisenvitriol mit 2 bis 3 Theilen Kochsalz innig gemengt und nachher dem Feuer ausgesetzt wird, so lange sich noch saure Dämpfe entwickeln. Dann erhält man schwefelsaures Natron mit einem dunkelbraunen Eisenoxyd gemengt. Das Salz wird in Wasser aufgelöst und das Oxyd bleibt in feinen dunkelbraunen Schuppen zurück. In der Glasmalerei ist das Eisenoxyd die wichtigste rothe Farbe, indem das mit Eisenoxyd völlig gesättigte Glas nach dem Erkalten schön roth erscheint.

Mit Chlor geht das Eisen ebenfalls mehrere Verbindungen ein. Einfaches Chloreisen, Chloreisen im Minimum, Eisenchlorür, besteht aus zarten, weißen, atlasglänzenden Blättchen; in etwas unreinen Zustande aber ist es eine feste, grau- und buntfleckige Masse von blättrigem Gefüge. In der Rothglühhitze schmilzt es, und verflüchtigt sich beim Ausschlusse von Luft und Wasser nur in starker Glühhitze. Es besteht aus 1 Misch. Gew. Eisen und 1 Misch. Gew. Chlor. Mit Wasser bildet es salzsaures Eisenoxydul, welches in blaßgrünen geraden rhombischen Säulen krystallisirt, aus gleichen Theilen Eisenoxydul und Salzsäure und 4 Misch. Gew. Krystallisationswasser besteht, in Wasser und Weingeist leicht löslich ist; die Krystalle zerfließen an der Luft. Anderthalb Chloreisen, Chloreisen im Maximum, Eisenchlorid, Eisenblumen erhält man in braunen, halb metallisch glänzenden Tafeln oder Blättchen, welche zum Theil regenbogenfarbig angelaufen sind, ist von herbem, eisenhaften Geschmack, und ist unter theilweiser Zersetzung bei einer Temperatur etwas über dem Siedepunkte des Wassers flüchtig. An der Luft zerfließt es schnell, und löst sich leicht unter Erwärmung in wenig Wasser. Hierbei verwandelt es sich in salzsaures Eisenoxyd. Dieses krystallisirt in durchsichtigen, orangefarbenen, ungleich sechsseitigen Tafeln, oder es erstarrt zu einer blaßgelben, strahlig krystallinischen Masse. An der Luft zerfließt es sehr leicht, und heißt dann salzsaure Eisen-

Digitized by Google

oxydflüssigkeit, Eisenöl, eine braungelbe ölartige Flüssigkeit. Salzsaures Eisenoxyd-Ammoniak, eisenhaltige Salmiakblumen, Ammonium-Eisenchlorid stellt sich nach den verschiedenen Vereitungsarten verschieden dar. Der durch Sublimation erhaltene ist eine feste strahlige Masse, die von blaßgelb bis dunkel braungelb ungleich gefärbt ist; der eingedickte ist eine gelbe Salzmasse; der krystallisirte besteht aus durchscheinenden Rhomboëdern, die mehr oder weniger stumpf oder spitz gemäß dem Gehalt an salzsaurem Eisenoxyd, von hell orange bis dunkel granatroth gefärbt sind.

Mit Schwefel verbindet sich das Eisen sehr begierig und in mehren Verbindungsstufen. Einfach Schwefeleisen, welches natürlich als Leberkies, Magnetkies vorkommt, und sich beim Glühen von Stabeisen und Schwefel bildet. Wenn man nämlich 2 Theile Schwefel und 3 Theile Eisenfeile mengt, und möglichst schnell in einem bedeckten Tiegel oder in einem kleinen Glaskolben bis zum Glühen erhitzt, so erfolgt die Verbindung unter Feuerentwicklung, welche ein Zeichen der großen Affinität zwischen Eisen und Schwefel ist. Wenn man Schwefel und Eisen in Verbindung mit Wasser erhitzt, so erhält man hydrothionsaures Eisenoxydul mit schwefelsaurem Eisenoxydul gemengt. Ein Gemenge aus 2 Theilen Schwefel und 3 Theilen Eisenfeile mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt, erhitzt sich sehr stark, und wird schwarz; im Großen erhitzt sich die Masse bis zur Entzündung und kann zur Herstellung künstlicher feuerspeiender Berge benutzt werden*). Der Magnetkies ist röthlich gelb, in sechsseitigen Säulen krystallisirt, von 4,5 spec. Gewicht. Das künstliche einfache Schwefeleisen ist schwärzlich grau, metallglänzend. Auf nassem Wege erhält man es als ein schwarzes Pulver. Es schmilzt in starker Weißglühhitze, ist im Wasser unlöslich, und magnetisch. Anderthalb Schwefeleisen ist ein schwarzes, nicht magnetisches Pulver, und besteht aus 1 Misch. Gew. Eisen und $1\frac{1}{2}$ Misch. Gew. Schwefel. — Doppelt Schwefeleisen kommt natürlich als Schwefelkies vor,

*) Berzelius bemerkt: diese Verbindung (Schwefeleisen) kommt im Mineralreiche selten vor; in diesem Falle ist ihre Anwesenheit in Gruben gefährlich, weil sie sich bei der Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit in schwefelsaures Eisenoxydul zu verwandeln anfängt, wobei die Temperatur oft bis zum Entzünden steigt. In den englischen Steinkohlengruben z. B. ist es bisweilen geschehen, daß große zusammengelegte Vorräthe von Steinkohlen, welche dieses Schwefeleisen enthielten, nach einem starken Regen sich entzündet haben und verbrannt sind; daher scheidet man jetzt mit Sorgfalt diese Verbindung von den Kohlen ab. In Kilkerran in Ayrshire gerieth aus dieser Ursache vor mehr als 70 Jahren eine große Kohlengrube in Brand. In Johnstown nahe bei Paisley entzündete sich ein sehr mächtiges Steinkohlenflötz, welches mit der äußersten Heftigkeit brannte; an einer Stelle war eine Länge von 100 Klaftern in vollem Weißglühen, und die Flamme stieg 100 Fuß aus der Grube empor; aber es gelang die Grube voll Wasser zu pumpen und das Feuer auf diese Art zu löschen.

Digitized by Google

das künstliche ist ein dunkelgelbliches, metallischglänzendes Pulver, nicht magnetisch und im Wasser unlöslich. Der natürliche Schwefelkies oder Eisenkies zeigt speißgelbe Krystalle, deren Kernform ein Pentagon-Dodekaëder ist, und der Strahl- oder Wasserkies meist blässere Krystalle, die Rectanguläroctaëder u. a. sind. — Schwefelsaures Eisenoxydul, Eisenvitriol, grüner Vitriol, Kupferwasser, erzeugt sich in schwefeleisenhaltigen Gruben, und wird im Großen aus Schwefeleisen bereitet. Der Eisenvitriol krystallisirt in hell bläulichgrünen, schiefen rhombischen Säulen und deren Abänderungen, hat 1,82 spec. Gewicht, und einen tintenartigen zusammenziehenden Geschmack. Er löst sich in 2 Theilen kalten Wassers und in $\frac{1}{4}$ heißen; gar nicht in Weingeist. Wenn man ihn erhitzt, so schmilzt er in seinem Krystallisationswasser, läßt dieses fahren, und es bleibt eine weiße Salzmasse zurück: wasserleeres schwefelsaures Eisenoxydul.

Mit Kohlenstoff verbindet sich das Eisen zu Stahl und Gußeisen. Der Stahl wird entweder aus dem Roheisen beim Frischen ohne Zusatz gewonnen (Frischstahl, Rohstahl, natürlicher Stahl), oder Stabeisen wird in dünnen Schichten in einem Kasten mit Kohlenpulver geschichtet und 5 bis 8 Tage roth geglüht (Cämentirstahl, Brennstahl). Wenn man den letztern mit $\frac{1}{10}$ Kohle und $\frac{1}{10}$ Glaspulver schmilzt, so erhält man Gußstahl. Der Stahl enthält $\frac{1}{140}$ bis höchstens $\frac{1}{70}$ Kohlenstoff, ist von weißerer Farbe und nach dem Abkühlen von größerer Härte und Elasticität als das Eisen von 7,79 bis 7,9 spec. Gewicht, schmilzt etwas leichter als Stabeisen, und wird weniger leicht magnetisch, hält aber den Magnetismus viel länger. Wenn man eine geringe Quantität Silber (auch Chrom) zum Stahl setzt, so wird seine Härte bedeutend vermehrt, und das Rosten verhindert. Durch schnelles Abkühlen des glühenden Stahles, z. B. durch Eintauchen in kaltes Wasser, wird derselbe hart und springt, wenn man ihn biegen will, er ritzt Glas und wird durch die Feile nicht angegriffen. Wird der so gehärtete Stahl erhitzt, so verliert er mehr und mehr seine Härte. Nach Berzelius wird z. B. ein Messer, dessen Schneide zu hart ist, weicher, wenn es in ein eben aus dem Backofen herausgenommenes Brot gesteckt wird, und mit demselben zugleich allmählig erkaltet. Die Härte des Stahles wird beurtheilt nach der Farbe, mit welcher er anläuft. Dieses Anlaufen ist eigentlich eine Oxydation, bei welcher der Stahl mit einem feinen schillernden Häutchen sich überzieht. Dasselbe fängt mit dem Strohgelb an, geht darauf ins Goldgelb mit eingestreuten Purpurstreifen über, dann ins Purpurroth, Violett und endlich Blau*). Zu den verschiedenen Instrumenten und Geräthen, die aus Stahl verfertigt werden, ist ein verschiedener Grad der Härte, und also

*) Nach Gmelin ist der Verlauf des Farbenwechsels, wenn man gehärteten Stahl anläßt, und einer immer höheren Temperatur aussetzt, bei schwacher Erhitzung hellgelb, dann dunkelgelb, dann kermesinroth, dann hellviolett, dann dunkelblau; bei noch stärkerer Erhitzung würde er grau und matt werden.

Digitized by Google

auch des Anlaufens nöthig. Zuweilen wird die Oberfläche schon fertiger Eisenarbeiten dadurch in Stahl verwandelt, daß man sie in Wolle oder Hornspähne einwickelt und eine Weile damit glüht, darauf herausnimmt, härtet und polirt. Fertige eiserne Gegenstände kann man nach Gautier leicht in Stahl verwandeln, wenn man sie in gepulverte Bohr- oder Drehspäne von Gußeisen einpackt und glüht. Bei dieser Methode soll die Stahlbildung schneller und bei geringerer Wärme vor sich gehen als bei der gewöhnlichen. — Besonders vorzüglicher Stahl ist der Wootz aus Ostindien. Er hat die Eigenthümlichkeit, daß er, wenn er nach dem Aushämmern mit schwacher Schwefelsäure geätzt wird, dunkle und helle Adern zeigt. Faraday hat gefunden, daß dieser Stahl einen geringen Antheil Aluminium und Kiesel enthält, und hat gelehrt ihn nachzumachen. Säbelklingen aus solchem Stahl wurden vorzüglich in Damascus verfertigt, daher nennt man jene adrige Zeichnung des Stahles Damascirung. Um sie dem Stahle zu geben, pflegte man schon seit langer Zeit in Europa Eisen- und Stahlstangen, welche spiralförmig zusammengewunden worden, zusammen zu schmelzen, und machte Säbelklingen, Messer u. dgl. daraus. Sobald man die Oberfläche solchen Stahles mit einer Säure bestreicht, so wird das reine Eisen blank, während der Stahl mit einem Ueberzuge von Kohle bedeckt wird, die Oberfläche der Gegenstände erhält also ein wellenförmig schwarzgestreiftes Ansehen. — Mehr Kohlenstoff als der Stahl enthält das Gußeisen, Roheisen. Ueber die Gewinnung desselben ist oben S. 72. gesprochen worden. Es ist härter, spröder und vielleichtflüssiger als Stabeisen, rostet auch minder leicht, und hat ein spec. Gewicht von ungefähr 7,25. Wenn es sich längere Zeit in Wasser befindet, so wird es zerlegt, indem die Kohlensäure des Wassers das Eisen auflöst und eine graphitähnliche Masse übrig bleibt. In der Farbe ist es sehr verschiedenartig, weiß, grau und schwarz, wovon theils fremde Beimischungen, theils die bei der Bereitung angewendete Hitze und Abkühlung die Ursachen sind. Nach Muschet sind die verschiedenen Gehalte an Kohlenstoff bei den verschiedenen kohlenstoffhaltigen Eisenarten folgende: Geschmeidiger Gußstahl enthält 0,012 Kohlenstoff, gewöhnlicher Gußstahl 0,01, härterer Stahl 0,011, brüchiger Stahl 0,02, weißes Roheisen 0,04, flockiges Roheisen 0,05, schwarzes Roheisen 0,067. — Das kohlensaure Eisenoxydul kommt in der Natur als Eisenspath vor zum Theil in weißen, braunen u. s. w. Rhomboëdern und deren Abänderungen krystallisirt. Das künstliche ist ein weiß- oder schwarzgrünliches Pulver. Es ist in reinem Wasser nicht löslich, wohl aber in kohlensaurem Wasser, und in dieser Verbindung kommt es in den Stahlwässern vor. Ein künstliches kohlensaures eisenoxydulhaltiges Wasser erhält man, wenn ein Eisendrath in einer Flasche mit kohlensaurem Wasser 48 Stunden wohlverschlossen in Berührung gelassen wird.

Noch sind kurz folgende Verbindungen des Eisens zu erwähnen: das salpetersaure Eisenoxydul und Eisenoxyd; das einfache Jodeisen, eine braune Masse, mit Wasser: Hydriodsaures Eisenoxydul, eine blaßgrüne Flüssigkeit, die grüne Krystalle gibt;

Digitized by Google

Phosphoreisen, eine weißgraue, streifige, spröde Masse; das phosphorsaure Eisenoxydul, welches natürlich als blaue Eisenerde vorkommt; das phosphorsaure Eisenoxyduloxyd, das natürlich als Eisenblau (welches in ganz frischem Zustande weiß ist, an der Luft aber allmählig blau wird) gefunden wird; das einfach phosphorsaure Eisenoxyd, natürlich im Raseneisenstein; Arsenikeisen (spröde, und bei großem Arsenikgehalt unmagnetisch) kommt mit Schwefeleisen verbunden als Arsenikkies oder Mißpickel vor; arsenikfaures Eisenoxydul, natürlich als Scorodit; arsenikfaures Eisenoxyduloxyd, natürlich als Würfelerz; einfach Cyaneisen; einfach blaufaures Eisenoxydul (Eisencyanür) ein weißes Pulver, das an der Luft blau wird; dreifach blaufaures Eisenoxydul oder Eisenblaufäure; blaufaures Eisenoxyduloxyd (Pariserblau, im unreinen Zustande mit Alaunerde vermengt — Berlinerblau) eine lose zusammenhängende leicht zerreibliche Masse von dunkelblauer Farbe, im Bruch kupferroth, matt, schwerer als Wasser, geschmacklos und unauflöslich im Wasser, wird in der Färberei gebraucht; blaufaures Eisenoxydul-Kali (blaufaures Kali, Blutlaugensalz, u. a.) krystallisirt in gelben, durchscheinenden, geraden abgestumpften quadratischen Säulen (Kernform ist der Quadratoctaëder), von 1,83 spec. Gew., hat einen süßlich herben, schwachsalzigen Geschmack, bei gelinder Erhitzung entwickelt es Wasser und verwandelt sich in einfach Cyaneisen-Kalium, eine weiße, leicht zerreibliche Masse; blaufaures Eisenoxydul-Zinkoxyd, (Zinkeisencyanür) ist ein weißes, in Wasser und verdünnten Säuren unlösliches, geschmackloses Pulver.

Außer den schon angeführten kommen noch vielfache Legirungen des Eisens mit anderen Metallen vor, unter denen sich die mit Rhodium auszeichnet. Faraday und Stodart fanden nämlich, daß wenn man Gußstahl mit 1 bis 2 proc. Rhodium zusammenschmilzt, derselbe weit härter als Wootz wird und seine Zähigkeit behält. Sonach gäbe diese Verbindung den besten Stahl zu Schneide-Instrumenten. Mit Zinn verbindet sich das Eisen in zwei verschiedenen Legirungen. Die Verzinnung der Eisenbleche geschieht nach Berzelius auf folgende Weise: Das Eisen wird in verdünnte Schwefelsäure gelegt, um das Oxydhäutchen abzulösen; darauf wird das Blech mit Sand gescheuert, und alsdann zuerst in geschmolzenen Talg und darauf in Zinn gestellt, welcher unter einer Decke von Talg geschmolzen ist. Die ganze Masse des Eisens wird dabei vom Zinn durchdrungen, so daß, wenn das Blech nach einiger Zeit herausgenommen wird, dasselbe durch und durch zinnhaltig ist. Auf der Oberfläche bleibt eine dünne Lage von Zinn zurück, welche das Eisen bedeckt. Je reiner das Zinn war, desto polirter fällt die Oberfläche des Zinnes aus. In England wendet man das sogenannte Grain tin dazu an, aber in anderen Ländern bedient man sich des Blockzinns, welches einen unebenen, durchaus nicht polirten Ueberzug gibt, der, um eine glatte Fläche zu bekommen, mit einem polirten Hammer geschlagen werden muß. Die von Alard erfundene Methode, dem verzinnten Eisenblech eine krystal-

Digitized by Google

linische Oberfläche zu geben, Metall-Atlas, Moiré metallique genannt, beschreibt Berzelius mit folgenden Worten: Es wird so gebildet, daß man die Blechplatte erhitzt, bis das Zinn auf ihrer Oberfläche geschmolzen ist, wonach es auf der einen Seite durch Uebergießen mit Wasser abgekühlt wird. Das Zinn schießt dann in krystallinischen Verzweigungen an, ähnlich dem Eise auf unseren Fensterscheiben; die Krystallisation ist aber nicht sogleich sichtbar, weil sie von dem zuerst erstarrten Metallhäutchen verdeckt ist. Je schneller die Abkühlung geschieht, um so kleiner werden diese Krystallverzweigungen, wodurch es also von dem Künstler abhängt, mit der Temperatur des abkühlenden Wassers ihre Größe zu bestimmen. Wird das Blech an einem Punkte so erhitzt, daß das Zinn von diesem gegen die Peripherie zu schmilzt, so entsteht ein Krystallstern, der diesen Fleck zum Mittelpunkte hat. Mit einem in Zinn eingetauchten Löthkolben kann man auf der hinteren Seite Buchstaben oder Figuren zeichnen, die auf der entgegengesetzten sichtbar werden. Man bedeckt das Blech mit Harz auf der Seite, wo die Zeichnung angebracht werden soll, und der Löthkolben muß so heiß sein, daß das Zinn bei dessen Berührung schmilzt. Um die Krystallisation darzustellen, bestreicht man die entgegengesetzte Seite mit einem Gemenge von Chlorwasserstoffsäure und Salpetersäure, das nicht sehr concentrirt sein darf, weil sonst die ganze Zinnbedeckung leicht abgelöst wird, und wenn die Krystalle mit hinreichendem Glanze hervorgetreten sind, taucht man das Blech in reines Wasser ein; es wird dann einige Mal mit etwas kaustischer Kalilauge überstrichen, um das dünne Häutchen von Zinnoxyd, welches das Wasser öfters aus der Säure niederschlägt, wegzunehmen, wonach das Blech mit reinem Wasser wieder abgespült wird. Um die Krystallfiguren glänzend zu erhalten, muß daß Blech nachher mit einem durchsichtigen Firniß überzogen werden. Als Ursache, warum die Säure nur die nicht krystallinische Bedeckung zuerst ablöst, gibt Berzelius an, daß schnell erstarrte und unregelmäßig krystallisirte Theile von allen Auflösungsmitteln eher aufgelöst werden, als die regelmäßig krystallisirten. Eine vorzügliche Neigung zur Krystallisation soll nach Wagenmann durch eine Auflösung von $\frac{1}{100}$ Silber oder $\frac{1}{200}$ Kupfer im Zinn bewirkt werden. — In Verbindung mit Nickel kommt das Eisen im Meteoreisen vor und enthält dann 3 bis 10 proc. Nickel. Wenn man Nickeleisen mit Salpetersäure gelind ätzt, so bilden sich darauf krystallinische Zeichnungen, und wenn man die polirte Oberfläche blau anlaufen läßt, so werden diese Zeichnungen gewöhnlich sehr schön, von gelber Farbe.

Ekliptik (v. d. griech. ἔκλειψις Finsterniß) heißt die Bahn, welche die Sonne unter den Sternen des Himmels alljährlich zu durchlaufen scheint.

In Wahrheit steht die Sonne still und wir bewegen uns mit der Erde um dieselbe, weil zugleich die Erde sich umwälzt (um ihre Axe dreht), so erscheint und verschwindet unserem Auge die Sonne in regelmäßiger Abwechselung. Nach allen Seiten des Himmelsraumes

Digitized by Google

stehen unbewegte Sterne, welche Phantasie zu Bildern zusammengefaßt hat. Stellen wir uns dieß lebhaft vor, so sehen wir bald ein, wie die gerade Linie, welche wir uns durch Sonne und Erde gelegt und durch den Weltraum verlängert denken können, täglich andere und andere Sterne des Weltraumes treffen müsse, und wie wir, wenn nicht das Licht des Tages die Sterne unseren Blicken entzöge, täglich andere Sterne in der Nähe der Sonne erblicken müßten. Wenn die Erde aber auf ihrer Bahn zu demselben Orte wiedergelangt, wo sie schon früher einmal stand, so muß die Sonne wieder in der Nähe derselben Sterne erscheinen, wie damals, der Fixsterne nämlich, weil diese ihre Stellung zu einander niemals verändern. Alljährlich aber legt die Erde ihre Bahn um die Sonne zurück, d. h. sie braucht 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten 48 Secunden, um von einem Punkte ihre Bahn bis wieder zu demselben Punkte derselben zurückzukehren. Denken wir uns nun durch diejenigen Punkte, durch welche die Sonne im Verlaufe eines Jahres unter den Sternen des Himmels zu gehen scheint, eine Linie in der scheinbaren hohlen Kugel des Himmels gezogen, so haben wir diejenige Linie, welche auch auf unserer künstlichen Himmelskugel gezogen wird, und welche die Ekliptik heißt.

Diese theoretische Ableitung dient zur vollkommenen Erklärung derjenigen Erscheinungen, welche wir in Folge der Bewegung der Erde um die Sonne wirklich wahrnehmen, und durch welche die Menschen zuerst auf die Bestimmung der Ekliptik geführt worden sind. Betrachten wir nämlich mit einiger Aufmerksamkeit, wenn die Sonne eben im Westen untergegangen ist, längere Zeit den westlichen Himmel, so finden wir, daß Sterne und Sternbilder, die wir noch vor einigen Tagen und Wochen dort um diese Zeit wahrnahmen, immer mehr verschwinden, und betrachten wir dagegen den Osten des Himmels vor Sonnenaufgange, so finden wir, wie Sterne, die vor Kurzem kaum in der Morgendämmerung kenntlich waren, immer deutlicher hervortreten. So kommen in Osten immer neue Sternbilder zum Vorschein und verschwinden im Westen, nach Verlauf eines Jahres aber erscheinen auf beiden Seiten Abends und Morgens wieder dieselben Sternbilder, die wir vor 365 Tagen wahrnahmen. Statt der angenommenen können wir zu jeder anderen bestimmten Stunde der Nacht die Sterne an einem bestimmten Orte z. B. gerade über unserem Scheitel beobachten, und wir werden finden, daß in jeder Jahreszeit andere Sterne uns dort erscheinen, nach Verlauf eines Jahres aber wieder dieselben. Könnten wir am Tage die Sterne beobachten, so würden wir diejenigen Sterne, welche ein halbes Jahr später des Nachts von uns gesehen werden, am Tage erblicken; und noch deutlicher bemerken, wie die Sonne unter den Sternen sich fortzubewegen schiene. Die Alten, und zwar schon die allerältesten Völker, welche wir kennen, haben die Erscheinungen des Himmels sehr genau beobachtet, und so auch die Ekliptik bestimmt.

Beobachtet man den Aufgang und Untergang der Sonne, so bemerkt man nicht nur ein Vorrücken derselben von Westen nach Osten, sondern man wird auch, sobald der Morgen- und Abendpunkt (s. Abend-

punkt Bd. I. S. 1.) bekannt sind, finden, daß sie nur an zwei Tagen des Jahres genau im Morgenpunkte aufgeht und im Abendpunkte untergeht, nämlich am 21. März und am 23. September. Vom 21. März (Frühling-Tag- und Nachtgleiche) *) an wird man bemerken, wie der Aufgangspunkt und der Untergangspunkt der Sonne sich immer mehr vom Ostpunkte und Westpunkte entfernen und näher nach dem Nordpunkte zu gehen. Am 21. Juni (längster Tag für die Bewohner der nördlichen Halbkugel) *) liegen jene Punkte dem Nordpunkte am nächsten, von nun an gehen sie wieder zurück nach dem Ostpunkte und Westpunkte zu, bis sie mit denselben am 23. Sept. (Herbst-Tag- und Nachtgleiche) zusammenfallen. Wie vorher nach dem Norden weicht nun die Sonne nach dem Süden zu ab bis zum 21. December (kürzester Tag für die Bewohner der nördlichen Halbkugel), dann kehrt sie wieder nach dem Aequator zurück, oder, was dasselbe ist, ihr Aufgangspunkt und Untergangspunkt nähern sich bis zum 21. März wieder dem Ostpunkte und Südpunkte, und fallen an diesem Tage wieder mit denselben zusammen; denn diese letzteren Puncte liegen im Aequator. Die Abweichung der Sonne nach Norden und Süden ist gleich, und beträgt 23°27′35″, d. h. die Ebene des Aequators macht einen so großen Winkel mit der Ebene der scheinbaren Sonnenbahn, und man nennt daher diesen Winkel die Schiefe der Ekliptik. Vergl. den Art.

Hiernach können wir die Ekliptik, wenn wir die Vorstellung einer hohlen Himmelskugel festhalten, an welcher die Linien des Aequators u. s. w. gezogen sind, als einen größten Kreis dieser Himmelskugel bezeichnen, welcher den Aequator unter einem Winkel von 23°27′35″ schneidet.

Aus der zuerst angegebenen Betrachtung, durch welche der Grund der Erscheinung einer Bewegung der Sonne in der Ekliptik angegeben wurde, folgt, daß die Erde auf allen Punkten ihrer Bahn sich in der Ebene der Ekliptik befindet, und hieraus folgt, daß Sonnen- und Mondfinsterniß nur dann eintreten können, wenn der Mond in die Ebene der Ekliptik oder doch in die Nähe derselben zu stehen kommt, denn dann allein wird er von der zwischen Sonne und Mond gezogenen geraden Linie getroffen werden, d. h. entweder zwischen Sonne und Erde so treten, daß die Lichtstrahlen der Sonne nicht frei zur Erde gelangen können (Sonnenfinsterniß), oder hinter die Erde, so daß diese die Strahlen der Sonne nicht ungehindert nach dem Monde kommen läßt (Mondfinsterniß). Deßwegen nun (weil nur in dieser Ebene die Finsternisse eintreten), hat man der scheinbaren Bahn der Sonne den Namen Ekliptik von ἔκλειψις d. h. Finsterniß **) gegeben.

Ueber die Eintheilung der Ekliptik s. d. Art. Thierkreis.

---

*) S. d. Art. Nachtgleiche und Sonnenwende.

**) Eigentlich das Verschwinden (der Sonne oder des Mondes).

Digitized by Google

Elektricität (v. d. griech. ἤλεκτρον Bernstein) ist nach Berzellius ein einfacher unwägbarer Stoff, oder eine Materie. Diese Bezeichnung ist aber insofern unpassend, als mit der Natur der Materie die Schwere unumgänglich nothwendig zusammen zu hängen scheint, so daß ein unwägbarer Stoff so viel heißt, als ein Stoff, der keiner ist.

Alle Stoffe können, ohne daß ihnen etwas Schweres oder Wägbares entzogen oder zugesetzt wird, in einen gewissen Zustand übergehen, in dem sie diejenigen Erscheinungen zeigen, welche unter dem Namen elektrische Erscheinungen zusammengefaßt werden, und die ich sogleich näher anführen werde. Die vorübergehende Eigenschaft nun, oder nach Berzelius der unwägbare Stoff, welcher jene Erscheinungen bedingt, heißt Elektricität. Auch versteht man unter diesem Worte den Inbegriff der sogenannten elektrischen Erscheinungen, und nennt Elektricitätslehre die Lehre von den elektrischen Erscheinungen, den Gesetzen, nach denen sie erfolgen, den Mitteln sie hervorzurufen, der Art und Weise, wie sie sich gegenseitig bedingen u. s. w. In dem oben angegebenen Sinne, nach welchem die elektrischen Erscheinungen von dem Vorhandensein eines eigenthümlichen (unbekannten) Stoffes abgeleitet werden, spricht man auch von einer elektrischen Materie oder einem elektrischen Fluidum (Flüssigkeit).

Betrachten wir nun zunächst näher die elektrischen Erscheinungen, so erscheint als die wichtigste die der elektrischen Anziehung; denn sie tritt von allen elektrischen Erscheinungen am ersten auf, oder, wie man sagt, bei dem Vorhandensein der geringsten Elektricität, beim schwächsten elektrischen Zustande eines Körpers. Wenn man ein Stückchen Bernstein (Siegellack oder eine Glasröhre), das vorher ruhig gelegen hat, einem kleinen Stückchen Papier nähert, so wird man durchaus keine Spur einer Einwirkung des Bernsteins auf das Papierchen bemerken. Reibt man aber den Bernstein, ehe man ihn dem Papierchen nähert, an einem anderen Körper, so wird er bei einem gewissen Grade der Annäherung das Papierchen an sich ziehen, so daß es noch ehe es körperlich von ihm berührt wird, an ihn anfliegt und an ihm haften bleibt. Nach einiger Zeit verliert der Bernstein wieder seine anziehende Kraft und das Papierblättchen fällt ab, wenn es nicht durch die Schwere auf dem Bernstein gehalten wird (oben auf demselben liegt). Hier tritt die Elektricität als eine dem Bernstein vorübergehend durch Reiben mitgetheilte Eigenschaft hervor. Man hat diese Eigenschaft schon seit sehr langer Zeit gekannt, am längsten von allen elektrischen Erscheinungen, und darum nach dem griechischen Namen des Bernsteins (ἤλεκτρον) Elektricität benannt.

Den oben angegebenen Versuch kann man auf eine lehrreichere Weise wiederholen, wenn man ein schmales Endchen Papier oder einen anderen leichten Körper an einem Faden ungedrehter Seide aufhängt, und diesem Papierstückchen ꝛc. eine vorher geriebene Siegellackstange nähert. Dann wird der leichte Körper erst angezogen, dann aber abgestoßen, und erst nachdem er einen andern Körper wie den Tisch

Digitized by Google

oder den Finger eines Menschen berührt hat, wieder angezogen, um nach kurzer Zeit wieder abgestoßen zu werden. Unter gewissen Umständen findet folglich nicht bloß Anziehung, sondern auch Abstoßung durch Elektricität statt.

Das Eintreten abwechselnd von Anziehung und Abstoßung, bei dem bald näher anzuführende Umstände in's Spiel kommen, wurde von Guericke zuerst wahrgenommen. Er bediente sich nämlich, wie Brandes mittheilt, einer Schwefelkugel, die er in einem gläsernen Gefäße gegossen und mit einer Axe und Handgriffe zum Drehen versehen hatte, um sie durch Reiben mit der Hand elektrisch zu machen. Er bemerkte, daß dieser elektrisch gemachte Körper nicht allein alle leichten Körper an sich zog, und selbst Wassertropfen in seiner Nähe gegen sich zu ausgedehnter machte, sondern daß auch eine Abstoßung stattfand, daß nämlich der einmal angezogene Körper sich nun von dem elektrischen Körper entfernte und erst dann zum zweitenmale angezogen wurde, wenn er einen anderen Körper berührt hatte. Das letztere zeigte Guericke an Federchen, die in der Luft schwebend nach einmaliger Berührung der elektrischen Kugel vor dieser flohen, wenn man die Kugel ihnen näherte. Guericke bemerkte, daß diese Federchen selbst wieder fähig waren, andere Körper anzuziehen, daß sie also selbst elektrisch geworden waren, oder Elektricität von dem geriebenen Körper empfangen und aufgenommen hatten. Eine Flaumfeder breitete sich aus, so daß die einzelnen Theile abstoßend gegen einander wirkten; dagegen ward sie vom Finger angezogen, oder übte vielmehr selbst diese anziehende Kraft aus, und wenn sie den Finger berührt hatte, so war sie wieder fähig von der elektrischen Kugel angezogen zu werden.

Nimmt man eine Glasröhre (Siegellackstange ꝛc.), und reibt sie längere Zeit mit einem wollenen Lappen, oder noch besser mit einem mit Amalgam (s. d. Art.) bestrichenen Stücke Leder, so wird eine größere Quantität Elektricität erzeugt, oder, nach der anderen Ausdrucksweise, ein stärkerer elektrischer Zustand hervorgerufen. Am besten eignen sich Röhren von gutem grünen Glase mit einer glatten gleichmäßigen Oberfläche. Nähert man einer solchen stark geriebenen Glasröhre den Knöchel eines Fingers, so bemerkt man, daß aus einer Entfernung von etwa einem halben Zoll ein kleiner Funke von der Röhre nach dem Finger überspringt, zugleich hört man ein Knistern. Im Finstern sieht man den Funken noch deutlicher, zugleich bemerkt man einen blaulichen Lichtschein um die geriebene Röhre. Nähert man diese dem Gesichte, so empfindet man ein Gefühl, als würde das Gesicht mit Spinneweben bezogen und bemerkt einen phosphorartigen Geruch. Je größer die geriebene Fläche ist, und je lebhafter die Reibung stattfindet, desto stärker wird die Elektricität und desto bemerklicher sind die angegebenen Erscheinungen. Ein hiernach gefertigter Apparat zu Erzeugung größerer Mengen Elektricität (oder Erregung eines stark elektrischen Zustandes) ist die Elektrisirmaschine (s. d. Art.), und an ihr treten alle die angeführten allgemeinen Erscheinungen der Elektricität aufs lebhafteste hervor, nämlich Anziehung und Abstoßung kleiner Körper,

Digitized by Google

Funken, Leuchten im Dunkeln *), Knistern bei Erscheinung von Funken, Gefühl wie von Spinneweben und phosphorartiger Geruch in der Nähe der (vorher in Thätigkeit gesetzten) Maschine. Diese allgemeinen Erscheinungen der Elektricität können unter gewissen Umständen nicht hervortreten, und ihr nicht Wahrgenommenwerden ist daher noch kein Beweis von nicht Dasein der Elektricität; wo sie aber auftreten, muß man dieses als Zeichen gegenwärtiger Elektricität ansehen. Am ersten tritt, wie schon erwähnt wurde, jenes Abstoßen und Anziehen kleiner, leicht beweglicher Körper auf, und man hat daher diesen Umstand benutzt, um Instrumente herzustellen, welche das Vorhandensein eines elektrischen Zustandes bei Körpern, die in ihre Nähe kommen, anzeigen: die Elektroskope (s. d. Art.).

Es sind bis jetzt schon mehrere Körper angeführt worden, welche gerieben elektrisch werden, namentlich Bernstein, Siegellack, Glas; früher kannte man solcher Körper nur wenige, endlich aber hat man entdeckt, daß alle Körper elektrisch zu werden im Stande sind, daß aber einige unter allen Umständen, sobald sie gerieben werden, elektrisch werden, andere dagegen nur unter gewissen Umständen die Elektricität, welche in ihnen erzeugt worden, so zu halten vermögen, daß sie an ihnen wahrgenommen wird. Die Körper verhalten sich gegen Elektricität ähnlich wie gegen die Wärme. Wie diese über einige Körper sehr schnell sich ausbreitet, so daß wenn z. B. das eine Ende einer Metallstange erhitzt wird, bald auch die Temperatur des anderen Endes merklich steigt, durch andere Körper dagegen schlechter fortgepflanzt wird, z. B. vom Glase; so wird auch die Elektricität von einigen Körpern schnell weiter verbreitet, von anderen nicht, sondern zurückgehalten. Jene heißen Leiter der Elektricität, diese Nichtleiter derselben; zwischen beiden liegen die Halbleiter, welche die Elektricität weder vollkommen ableiten, noch vollkommen zurückhalten. Man hat früher geglaubt, daß die Nichtleiter allein elektrische Körper wären, weil man namentlich bei den besten Leitern wegen der zu schnellen Ableitung der Elektricität diese nicht wahrnehmen konnte, wenn man sich bestrebte durch Reiben sie in ihnen zu erzeugen, und man nannte deßwegen die Nichtleiter der Elektricität idioelektrische, d. h. eigenthümlich elektrische, an sich elektrische Körper, die Leiter dagegen anelektrische d. h. unelektrische Körper. Wenn man sich überzeugen will, daß auch Leiter der Elektricität durch Reibung elektrisch werden können, so muß man einen solchen z. B. einen Metallstab nicht unmittelbar in der Hand halten, sondern man muß ihn an einer gläsernen Handhabe fassen **). Der Grund liegt

*) Schöne Strahlen elektrischen Lichtes erscheinen z. B., wenn man ein auf dem warmen Ofen liegendes Stück Papier im Dunkeln mit Federharz reibt.

**) Statt an einer gläsernen Handhabe kann man das Metall auch an einer Handhabe von wohl ausgetrocknetem Holze oder von einem Harze, oder in der Hand halten, nachdem man diese vorher mit Seide umwickelt hat. Reibt

Digitized by Google

darin, daß der menschliche Körper selbst ein Leiter der Elektricität ist, sobald ich daher ein Metall in der Hand halte und reibe, so erzeugt sich allerdings Elektricität, diese aber theilt sich von der Stelle, an welcher das Metall gerieben wird, alsbald (weil Metall ein guter Leiter ist) dem ganzen Metallstücke und durch dieses dem Körper und durch diesen wieder der Erde mit, so daß die Elektricität wie sie erzeugt auch sogleich abgeleitet wird, und darum unbemerkt bleibt. Halte ich dagegen das Metall nicht unmittelbar in der Hand, sondern nur mittelst eines Nichtleiters (Glas, Harz, Seide), so kann die Elektricität durch den Nichtleiter behindert, nicht so schnell abgeleitet werden, denn auch trockene Luft, in welcher der Versuch angestellt werden muß, ist ein Nichtleiter der Elektricität. Bei allen Leitern der Electricität kann Elektricität dann sich anhäufen, wenn sie von Nichtleitern der Elektricität so umgeben sind, daß sie außer aller leitenden Verbindung mit dem Erdboden gesetzt sind. Wegen dieses Umstandes nennt man die Nichtleiter der Elektricität auch Isolatoren (v. d. franz. isoler, absondern). Die Elektricität wäre vielleicht nie entdeckt worden, wenn nicht die Luft ein Isolator wäre. Sie kann indeß ihre Fähigkeit zu isoliren verlieren, wenn sie mit Feuchtigkeit geschwängert ist, denn diese leitet die Elektricität sehr gut. Bei feuchter Luft mißlingen deßwegen die Versuche über Elektricität häufig gänzlich.

Fast scheint es, als wäre die trockene Luft wenigstens zum Theil die Ursache, aus welcher die Elektricität an den Körpern, oder vielmehr an den Oberflächen derselben haftet, indem die Elektricität (als Stoff betrachtet) durch den allseitigen Druck eines isolirenden Körpers (die Luft) an die Oberfläche des Körpers gleichsam angedrückt erscheint. Denn wenn man nach Biot einen elektrischen und durch Füße von Glas oder Siegellack isolirten Leiter unter die Glocke der Luftpumpe bringt, so wird er bei einem gewissen Grade der Luftverdünnung alle seine Elektricität verlieren, indem dieselbe aus ihm mit einem blaulichen Lichte nach allen anderen Leitern ausströmt, durch welche sie mit dem Erdboden Gemeinschaft erhalten kann. Bringt man unter den nämlichen Umständen einen elektrischen Nichtleiter z. B. eine Siegellackstange unter die Glocke, so entweicht die Elektricität auch aus ihm, wenn man die Luft auspumpt; allein die Trennung geschieht weit langsamer, und der Körper bedarf weit längerer Zeit, um derselben ganz entledigt zu werden. Aus diesem letzteren Umstande geht aber zugleich hervor, daß der Luftdruck gewiß nicht die alleinige Ursache des Haftens der Elektricität an die Körper sei, sondern daß diesen auch noch selbst eine größere oder geringere Anziehung gegen die Elektricität, je nachdem sie bessere Isolatoren oder bessere Leiter sind, zukommt, und gemäß welcher sie die Elektricität mehr oder weniger fest an sich halten, oder diese an jenen adhärirt.

Die Entdeckung, daß einige Körper die Elektricität weithin fort-

---

man hierauf den Metallstab, so wird er elektrisch und bringt die vorher mittelst einer Glasröhre bewirkten Erscheinungen hervor.

Digitized by Google

zuleiten im Stande sind, wurde im J. 1728 von Grey gemacht. Derselbe stellte nämlich Versuche über Elektricität mit einer Glasröhre an, welche er oben und unten mit Korkpropfen geschlossen hatte. Er bemerkte, daß nachdem er die Röhre durch Reiben elektrisch gemacht hatte, leichtere Körper nicht nur von der Glasröhre, sondern auch von den Korken angezogen und dann wieder abgestoßen wurden. Als er hierauf ein längeres Stäbchen mit einer Kugel in den einen Kork steckte, brachte auch dieses die elektrischen Wirkungen hervor. Er setzte die Untersuchungen noch weiter fort, und befestigte eine längere hanfene Schnur an den Kork, und an das andere Ende derselben eine Kugel. Diese hing 26 Fuß herab von der gläsernen Röhre. Als Grey die Röhre elektrisch gemacht hatte, und kleine Körper in die Nähe der Kugel brachte, so zeigte sich, daß bis in diese bedeutende Entfernung die Elektricität fortgeleitet werde. Ein noch weiter gehender Versuch führte den geschickten Experimentator auch auf den Gegensatz zwischen Leitern und Isolatoren. Er wollte nämlich versuchen, ob auch in horizontaler Richtung die Elektricität sich fortleiten ließe, und führte daher die hänfene Schnur eine Strecke von mehr als 100 Fuß in horizontaler Richtung fort, indem er sie dadurch unterstützte, daß er sie mittelst einer dünnen seidenen Schnur befestigte. Der Versuch gelang, er konnte die Elektricität bis zu der angegebenen bedeutenden Entfernung fortleiten. Nun aber riß die seidene Schnur und Grey ersetzte sie durch einen dünnen Metalldraht; die Folge war, daß die Elektricität nicht mehr bis zum Ende der hanfenen Schnur fortgeleitet wurde; der Grund lag offenbar darin, daß der Metalldraht ohnerachtet seiner Feinheit die Elektricität abgeleitet hatte. Grey sah also, daß Metall ein Leiter der Elektricität sei, Seide dagegen ein Nichtleiter. Grey setzte seine Versuche noch weiter fort, es gelang ihm die Elektricität bis zu mehr als 700 Fuß fortzuleiten, auch stellte er erfolgreiche Untersuchungen an, welche Körper Leiter, und welche Nichtleiter der Elektricität seien. Ueber die Körper hinsichtlich ihrer Leitungsfähigkeit s. d. Art. Leiter der Elektricität. Es ist indeß gewiß, daß es einen vollkommenen Nichtleiter nicht gibt, denn allmählig verlieren elektrische Körper, auch wenn sie aufs vollkommenste isolirt hingestellt, d. h. mit den besten Nichtleitern nach allen Seiten umgeben werden, ihre Elektricität mehr und mehr.

Die isolirten Leiter, deren man sich am gewöhnlichsten bedient, sind metallene Cylinder, welche auf einem oder zwei Füßen von Glas oder Pech ruhen, oder an seidenen Fäden aufgehängt sind, und übrigens rings von Luft umgeben sind. Soll das Glas, das Pech, oder die Seide möglichst vollkommen isoliren, so ist es nothwendig, daß ihre Oberfläche weder mit Staub noch mit Feuchtigkeit überzogen sei, denn ein solcher Ueberzug kann dazu dienen, die Glasfüße ꝛc. in vollkommene Leiter umzuwandeln. Ueber die stets, auch wo keine solche directe Leitung stattfindet, endlich erfolgende bis zum gänzlichen Verschwinden gehende Abnahme der Elektricität hat Coulomb Versuche angestellt. Er fand, daß die Zerstreuung der Elektricität durch die isolirenden Träger (Glasfüße ꝛc.) anfangs bei noch größerer Inten-

Digitized by Google

sität der Elektricität größer sei, als nachher, daß endlich, wenn die Elektricität bis zu einem gewissen Grade der Intensität herabgesunken ist, alle weitere Zerstreuung durch die Träger aufhört, und diese dadurch zu völligen Isolatoren werden. Dagegen findet nach Coulombs Versuchen eine fortwährende Ableitung der Elektricität im Verhältniß zur Intensität derselben durch die Luft statt. Der Grund mag theils in dem Wasserdunste liegen, der ein Leiter der Elektricität ist, und von dem die Luft stets mehr oder weniger geschwängert ist, theils in der Beweglichkeit der Luft. Denn, wenn auch die einzelnen Theile eines Isolators und so auch der Luft die Elektricität gegenseitig nicht sich zuführen, so nehmen sie für sich doch Elektricität auf, sobald sie mit elektrischen Körpern unmittelbar in Berührung kommen. Die so den elektrischen isolirten Leiter zunächst umgebenden Lufttheilchen, werden aber wie alle kleinen Körpertheile, nachdem sie Elektricität aufgenommen haben, zurückgestoßen, neue Lufttheilchen kommen mit dem elektrischen Körper in Berührung und entziehen demselben bei der unmittelbaren Berührung eine neue Quantität Elektricität, werden wieder abgestoßen u. s. w. Coulomb fand in Bezug auf die Zerstreuung der Elektricität durch die Luft das Gesetz: daß diese abhing von dem hygrometrischen Zustande der Luft, der Temperatur, dem Luftdrucke, dabei aber jedesmal ein constantes Verhältniß zur Intensität der vorhandenen Elektricität stattfinde, so daß in gleichen Zeiten gleiche Theile der mittlern Kraft verloren gingen. Der wievielte Theil dieß aber sei, hing wie schon angedeutet von größerer oder geringerer Feuchtigkeit ꝛc. der Luft ab; bei einem Versuche z. B. ging jede Minute $\frac{1}{60}$ der elektrischen Kraft eines Körpers verloren, ein andermal $\frac{1}{37}$.

Wenn man einen Leiter der Elektricität elektrisch machen will, so geschieht dieß in der Regel nicht in der Art, daß man in dem Körper selbst durch Reiben oder sonst ein Erregungsmittel der Elektricität diese erzeugt, sondern so, daß man den Leiter einem elektrischen Isolator nähert, wo denn jener diesem einen Theil der Elektricität entziehet, und dieselbe, wenn er ein isolirter Leiter ist, gleichmäßig über seine Oberfläche verbreitet festhält. Man nennt dieß Verfahren Mittheilung der Elektricität, und unterscheidet ursprüngliche und mitgetheilte Elektricität. Auch ein elektrischer Leiter theilt einem anderen Leiter Elektricität mit, die sich dann in beiden gleichmäßig über die Oberfläche vertheilt, so daß also ein Gleichgewicht (lat. Equilibrium) der Elektricität stattfindet. Bei dieser Mittheilung der Elektricität verliert der mittheilende elektrische Körper eine derjenigen gleiche Quantität, welche der isolirte Leiter angenommen hat. Man kann sich aus den einfachen Gesetzen der Mittheilung nun auch leicht erklären, warum ein elektrischer Leiter, dessen Isolirung aufgehoben wird, d. h. der mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird, seine Elektricität gänzlich verliert. Durch die Verbindung mit der Erde wird nämlich dieser selbst die Elektricität so mitgetheilt, daß sich dieselbe über den ersten Leiter und die Erde gleichmäßig vertheilt, da nun gegen die Quantität der auf der Oberfläche des ersten Leiters vorher angehäuften Elektricität die Erde eine unendlich große Oberfläche

Digitized by Google

darbietet, so muß nothwendig die Elektricität des Leiters zu einer unendlich geringen Intensität herabsinken, d. h. verschwinden.

Die Mittheilung der Elektricität sowohl von einem elektrischen Nichtleiter an einen Leiter, als auch von einem isolirten elektrischen Leiter an einen andern Leiter geschieht nicht bloß in der Berührung, sondern auch schon dann, wenn ein Körper dem andern bis zu einem gewissen Grade genähert wird. In diesem Falle ist gewöhnlich wenigstens im Dunkeln der Uebergang der Elektricität sichtbar, indem entweder ein Funke zwischen beiden Körpern überspringt, oder die Elektricität in Gestalt eines Licht- oder Feuerbüschels von dem einen zum andern überströmt. Funken pflegen sich dann zu zeigen, wenn die Körper mit stumpfen Enden einander genähert werden, (z. B. wenn man den Knöchel des Fingers dem Conductor einer Elektrisirmaschine nähert); Feuerbüschel dagegen, wenn von den Enden der Körper, welche einander nahe gebracht werden, entweder beide, oder doch einer spitz ist. Im letzteren Falle findet eine Mittheilung der Elektricität aus größerer Entfernung statt, als im ersten Falle. Die Mittheilung geschieht überhaupt um so schwieriger und später, jemehr die genäherten Flächen einer Ebene gleichen. Nähert man zwei völlige Ebenen einander, so daß sie in durchaus paralleler Richtung mit einander bleiben, so geschieht die Mittheilung der Elektricität erst bei der größten Annäherung, ja man kann auf einen elektrisch gemachten Harzkuchen eine glatte Metallfläche ganz auflegen und eine Zeitlang auf demselben ruhen lassen, und wird keine Mittheilung der Elektricität an der Metallfläche bemerken. Hat dagegen eine der genäherten Ebenen eine Erhöhung, so springt der Funke in dieser Erhöhung über. Die Entfernung, in welcher zwischen stumpfen Körpern der Funke überspringt, heißt die Schlagweite, deren Größe natürlich von der Intensität der Elektricität des elektrischen Körpers abhängt. Nach dem Ueberspringen des Funkens verhalten sich beide Körper in Bezug auf Elektricität so, als wenn sie einander berührt hätten. Wird daher einem elektrischen isolirten Leiter ein nicht isolirter Leiter bis zum Ueberspringen des Funkens genähert, so wird jener durch diesen entladen (d. h. seiner Elektricität beraubt), aber nicht vollständig, woraus man sieht, daß auch der Funke, so augenblicklich er auch unseren Sinnen auftritt, dennoch als ein successives Ueberströmen der Elektricität vorgestellt werden muß, welches aber mit großer Schnelligkeit vor sich geht. Während dieses Ueberströmens aus einer bestimmten Entfernung und durch dieselbe nimmt nämlich die Intensität des elektrischen Körpers bis zu einem Grade ab, in dem ein weiteres Ueberströmen nicht mehr geschehen kann, weil die Entfernung zu groß im Verhältniß zu dieser erniedrigten Intensität ist; es bleibt also, wenn die Körper nicht allmählig bis zur Berührung einander nahe gebracht werden, stets ein Rest Elektricität in dem zuerst elektrischen Körper.

Wenn der elektrische Körper ein Isolator ist, so gibt er durch den Funken wie durch die unmittelbare Berührung nur die Elektricität des Theiles, welcher dem Leiter am nächsten gebracht wird, ab; daher ist der Funke aus einem solchen Körper stets nur schwach; da indeß

Digitized by Google

immer neue Elektricität in einem Isolator durch Reibung erzeugt werden kann, so benutzt man bei der Elektrisirmaschine Isolatoren als Quellen der Elektricität, welche fortwährend an einen isolirten Leiter, den Conductor, die eben erzeugte Elektricität abgeben, welche sich nun an diesem ansammelt, so daß aus dem Conductor größere Funken gezogen werden können.

Uebrigens erfolgt die Mittheilung der Elektricität an einen nur genäherten, nicht in unmittelbarer Berührung mit dem elektrischen Körper stehenden Körper nicht bloß durch die Luft, sondern auch durch andere Isolatoren. Biot führt an, daß, wenn man in die Mitte eines Glaskolbens eine durch Reiben elektrisch gemachte Siegellackstange aufhängt, man findet, daß sie leichte außerhalb des Kolbens befindliche Körper anzieht, gerade so, als wenn kein Glas dazwischen befindlich wäre. Eben so findet die Anziehung statt, wenn die leichten Körper im Kolben aufgehangen sind, während sich die elektrische Siegellackstange oder Glasröhre außerhalb desselben befindet.

Wenn in einem Nichtleiter Elektricität durch Reiben erregt worden, so theilt sich dieselbe dem Begriffe eines Nichtleiters gemäß nicht dem ganzen Körper mit, sondern sie tritt nur da auf, ist nur da bemerklich, wo der Körper gerieben worden ist; isolirte elektrische Leiter dagegen sind es allemal in ihrer ganzen Oberfläche. Ich sage die Oberfläche, denn die Erfahrung hat gelehrt, daß nicht derjenige Körper mehr Elektricität annehme (größere Capacität für Elektricität habe), welcher mehr Masse, sondern derjenige, der eine größere Oberfläche hat. Ein Cylinder, der massiv von Metall gearbeitet und isolirt aufgestellt ist, zeigt nicht eine größere Quantität Elektricität als ein aus demselben Metalle gearbeiteter hohler isolirter Cylinder, wenn er eine eben so große Oberfläche als jener hat.

Versuche, welche in Bezug auf Capacität für Elektricität namentlich von Coulomb mittelst seiner Drehwage (s. diesen Art. und Wage, elektrische) angestellt worden, bestätigen den Satz, daß die Verschiedenartigkeit des Stoffes nur in Bezug auf schnellere oder langsamere Verbreitung der Elektricität in Betracht komme *), nicht aber in Bezug auf Capacität für Elektricität; daß hierauf eben so wenig das Mehr oder Weniger der Masse von Einfluß sei, sondern allein die Größe und die Beschaffenheit der Oberfläche der elektrischen Körper. Die Elektricität dringt durchaus nicht in das Innere der Körper ein. Um sich hiervon durch den Augenschein zu überzeugen, schlägt Pfaff folgendes Experiment vor. Man nehme einen leitenden Körper von sphäroidischer Form wie S (Fig. 8.), man verfertige sich zwei sehr dünne Kappen E, F gleichfalls von einer leitenden Substanz, wie von Goldpapier, und gebe ihnen eine solche Krümmung, daß, wenn sie an einander stoßen, sie den Körper S genau einschließen und umhüllen; man befestige an diese Kappen nach außen zwei passende Hand-

*) So daß ein besserer Leiter schneller, ein schlechterer langsamer die Elektricität über seine Oberfläche verbreitet.

Digitized by Google

haben von Schellack M, M, so daß man sie gut anfassen kann, ohne ihnen ihre Elektricität zu entziehen. Man isolire den Körper S durch einen gläsernen Fuß, oder hänge ihn an einem wohl mit Schellack überzogenen seidenen Faden auf, und theile ihm irgend einen Grad von Elektricität mit, z. B. durch Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine. Nunmehr applicire man mit Hilfe der isolirenden Handhaben jene oben beschriebenen Kappen gehörig an den Körper S, um ihn ganz zu umhüllen; ziehe sie sogleich wieder mit derselben Vorsicht (ohne sie wo anders als an den Handhaben zu berühren) davon ab, und prüfe sie durch ein Elektrometer. Man wird finden, daß sie dem sphäroidischen Körper alle seine Elektricität geraubt haben, der auf dieselbe Weise untersucht keine Spur davon zeigen wird. Noch allgemeiner beweisende Versuche beschreibt ebenfalls Pfaff. Man bohre in einen Leiter von beliebiger Gestalt ein oder mehrere cylindrische Löcher von beliebiger Tiefe und von 4 bis 5 Linien Durchmesser, verfertige sich einen Faden von Schellack von einigen Zollen Länge, und befestige an das Ende desselben eine Scheibe von Goldpapier, oder ein Kügelchen von Hollundermark von einem Durchmesser, der etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite jener Löcher beträgt. Dann isolire man den mit jenen Löchern versehenen Leiter, elektrisire ihn hinlänglich stark durch einen Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine, und führe mit aller Vorsicht, indem man den Faden von Schellack an seinem freien Ende hält, das eine Ende mit der Goldscheibe oder dem Hollundermarkkügelchen in eines jener Löcher, wobei man sich aber wohl in Acht zu nehmen hat, daß die Ränder der oberen Oeffnung desselben nicht berührt werden. Die Goldscheibe oder das Hollundermarkkügelchen wird, wenn man es an das Elektroskop bringt, keine Spur von Elektricität zeigen, selbst dann nicht, wenn der Boden oder die Seitenwand des Loches damit berührt worden ist. Hieraus ergibt sich denn offenbar, daß die Elektricität nicht in das Innere der Körper eindringt, und sobald man dieselbe als eine feine Materie (ätherisches Fluidum) sich vorstellt, muß man annehmen, daß sie als eine dünne Schicht, über die Oberfläche der Körper, welche sie unmittelbar berührt, sich hinzieht.

Ueber den Einfluß, welchen die Beschaffenheit der Oberfläche elektrischer Körper, namentlich die durch die Oberfläche bedingte Gestalt der Körper, auf die Capacität derselben für Elektricität hat, sind schon von Volta interessante Versuche angestellt worden. Derselbe machte die Erfahrung, daß Cylinder von gleich großer Oberfläche eine desto größere Capacität für Elektricität haben, je länger sie sind. Er verglich nämlich die Capacität von drei Cylindern, von denen der eine 1 Fuß Länge und 4 Zoll Durchmesser, der zweite 2 F. Länge und 2 Zoll Durchmesser, der dritte 8 Fuß Länge und $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, also jeder Einen Quadratfuß Oberfläche (die halbkugelförmigen Flächen der Enden ungerechnet, durch welche die Cylinder eine desto größere Oberfläche erhielten, je größer ihr Durchmesser war) hatte; und es zeigte sich, daß der längste die größeste, der dickste die geringste Capacität für Elektricität hatte. Denn wenn alle drei Cylinder so lange

mittelst der Elektrisirmaschine geladen wurden, bis sie von selbst Funken ausströmten, gab der längste Cylinder die längsten Funken, auch waren, um diesen auf gleiche elektrische Spannung mit den beiden anderen Cylindern zu bringen, die meisten Umdrehungen an der Elektrisirmaschine nöthig.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Isolatoren und Leitern besteht darin, daß wenn man einen elektrischen (isolirten) Leiter berührt, und dadurch eine leitende Verbindung desselben mit dem Erdboden herstellt, so wird demselben alle Elektricität entzogen (s. oben S. 88.); wenn man dagegen einen elektrischen Isolator berührt, so wird von demselben nur diejenige Elektricität abgeleitet, welche sich unmittelbar an dem berührten Punkte gesammelt hat. Hierin liegt auch, wie schon oben angeführt worden, der Grund, warum man lange Zeit annahm, daß die Leiter der Elektricität nicht durch Reiben elektrisch gemacht werden könnten. Um eine elektrische Metallstange völlig unelektrisch zu machen, hat man nur nöthig einen Punkt derselben irgend wie mit dem Erdboden in leitende Verbindung zu setzen (entweder mittelst eines andern Leiters, den man zugleich die elektrische Metallstange und den Erdboden berühren läßt, — wozu der menschliche Körper selbst dienen kann, — oder so, daß man die Metallstange unmittelbar gegen den Erdboden stützt); wenn man dagegen eine elektrische Glasstange ihrer Elektricität völlig berauben will, so reicht die Berührung derselben an Einem Punkte nicht hin, sondern man muß dieselbe öfter und an vielen verschiedenen Stellen berühren.

Es ist schon sogleich zu Anfange des Art. aufmerksam gemacht worden auf eine Erscheinung, deren nähere Untersuchung zu den wichtigsten Entdeckungen in der Elektricitätslehre führt. Ich meine die Abstoßung, welche erfolgt, nachdem vorher Anziehung stattgefunden hat. — Ein leicht herzustellender Apparat, dessen man sich zu Anstellung dieser Beobachtungen bedienen kann, ist Fig. 9. abgebildet. A B ist ein bewegliches Gestell mit einem Haken bei C, von dem ein seidener sehr dünner Faden C D herabhängt, an dessen unteres Ende bei D eine kleine Kugel von Hollundermark (einer sehr leichten und gut leitenden Substanz) hängt. Man nennt dieses kleine Instrument ein elektrisches Pendel. Berührt man die Kugel desselben mit einer durch Reiben elektrisch gemachten Glasröhre, so wird dieses Kügelchen durch Mittheilung elektrisch, und da es isolirt (an einem seidenen Faden) aufgehängt ist, so wird seine Elektricität nicht sogleich abgeleitet, sondern es verliert dieselbe erst nach einer geraumen Zeit durch die Luft. Diese mitgetheilte Elektricität des Kügelchens macht sich selbst durch das Auftreten elektrischer Erscheinungen bemerklich, nur muß man sich hüten, nachdem die Glasröhre vom Kügelchen hinweggenommen worden, dieses mit dem Finger oder mit sonst einem leitenden Körper zu berühren. Das elektrische Kügelchen zieht kleine Körperchen wie Staub ꝛc. an und bewegt sich, wenn man ihm die Hand nähert, gegen dieselbe. Während der Zeit, in der das Kügelchen Elektricität von der ursprünglich elektrischen Glasröhre empfängt, haftet es an derselben, dann aber wird es von derselben abgestoßen,

Digitized by Google

und scheint sie, wenn sie aufs neue genähert wird, zu fliehen, so lange es selbst noch im elektrischen Zustande beharrt. Nur muß man den Versuch mit der Vorsicht anstellen, daß man die Glasröhre nicht zu schnell nach dem ersten Berühren nähert, denn sonst wird das Kügelchen statt die Glasröhre zu fliehen wieder von ihr angezogen, aus später anzuführenden Gründen. Hieraus folgt im Allgemeinen der Satz: daß Körper, von denen der eine den andern durch Mittheilung elektrisch gemacht hat, von einander abgestoßen werden. Bei schweren Körpern tritt zwar keine sichtbare Abstoßung ein (so wenig als vorher eine Anziehung), der Grund ist aber allein darin zu suchen, daß ihr Gewicht der elektrischen Abstoßung (und Anziehung) entgegenwirkt.

Der Versuch kann lehrreich modificirt werden, und gibt dann zugleich eine leicht zu durchschauende Erklärung der S. 84. angeführten Beobachtungen, die Guericke an Flaumfedern machte, wenn man zwei Hollundermarkkügelchen frei an feinenen Fäden so aufhängt, daß diese oben sich vereinigen und an einen (isolirenden) seidenen Faden befestigt sind, die Kugeln aber neben einander zu hängen kommen, daß sie sich berühren. Berührt man nun eine dieser Kugeln mit einer elektrisch gemachten Glasröhre oder Siegellackstange, so wird beiden dadurch Elektricität mitgetheilt, und beide Kugeln stoßen nun einander ab, so daß die Fäden aus einander gehen, und diese Divergenz der beiden Kugeln dauert so lange bis sie entweder in der Luft ihre Elektricität zerstreut haben, oder dieselbe ihnen durch Berührung mit dem Finger entzogen worden. Man darf nur eine Spitze der feinen Haare des Fadens, an den sie befestigt sind, berühren, so hört die Divergenz auf, und die Kugeln berühren sich wieder wie vorher.

So weit tritt die Erscheinung ein bei dem vorhin beschriebenen elektrischen Pendel und bei den zwei aufgehangenen Korkkügelchen gleichermaßen, man mag eine elektrische Glasröhre oder eine Siegellackstange beim Versuche anwenden. Bei der Annäherung nach vorhergegangener Berührung mit demselben elektrischen Körper findet an dem elektrischen Pendel Fliehen des Hollundermarkkügelchens statt. Ganz anders aber ist die Erscheinung, wenn man nicht bloß einen der elektrischen Körper, sondern beide anwendet, z. B. erst die Kugel mit einer elektrischen Glasröhre berührt und dann eine elektrische Siegellackstange ihm nähert. Statt, wie man erwarten könnte, zu fliehen, wird die Kugel angezogen werden, und zwar kräftiger, als wenn sie vorher keine Elektricität von der Glasstange mitgetheilt erhalten hätte. Eben so wird ein Kügelchen, welches von einer Siegellackstange durch Mittheilung elektrisch geworden ist, von der Siegellackstange zwar nun abgestoßen, von einer elektrischen Glasröhre aber angezogen. Hieraus ergibt sich nun ein gewisser Gegensatz der Elektricität des Glases und der des Siegellackes, indem auf einen elektrischen Körper, je nachdem er durch Siegellack oder Glas elektrisch gemacht worden ist, Glas anziehend wirkt, während Siegellack ihn abstößt und umgekehrt, und da ausgedehntere Versuche, die man mit anderen elektrischen Körpern angestellt hat, gezeigt haben, daß einige derselben sich wie Glas, andere wie Siegellack verhalten, also der Gegensatz zweier Elektricitäten durch-

Digitized by Google

gängig ist, so hat man sich genöthigt gefunden, eine doppelte Elektricität anzunehmen, indem man Glaselektricität allen denen Körpern zuschreibt, die sich in dem elektrischen Gegensatze wie Glas verhalten, die also einen kleinen mit einer Glasstange elektrisch gemachten Körper abstoßen, und denselben Körper, wenn er mit einer Siegellackstange elektrisch gemacht worden, anziehen, — Harzelektricität allen denen Körpern beilegt, welche ein mit Siegellack elektrisch gemachtes Kügelchen abstoßen, und ein mit Glas elektrisch gemachtes anziehen. Zu den letzteren gehören alle Harze, deßwegen der Name Harzelektricität allgemeiner für Siegellackelektricität. Das Gesetz dieses elektrischen Gegensatzes ist: Körper, die mit gleichnamiger Elektricität geladen sind, stoßen sich ab; Körper dagegen, die mit ungleichnamiger Elektricität geladen sind, ziehen sich an.

Betrachten wir nun, welche Erscheinungen die entgegengesetzten Elektricitäten an dem kleinen Apparat mit den zwei unter einander in leitender Verbindung stehenden isolirt aufgehängten Hollundermarkkügelchen hervorbringen. Hat man ihnen Elektricität von einer Glasröhre oder Siegellackstange mitgetheilt, so bemerken wir, daß sie aus einander gehen, divergiren; führt man ihnen aber hierauf die der ersten entgegengesetzte Elektricität zu, so convergiren sie, legen sich wieder an einander, gerade so wie wenn man ihnen durch Berührung mit einem mit der Erde in Verbindung stehenden Leiter alle Elektricität entzogen hätte. Und in der That zeigen die Kügelchen, nachdem sie mit entgegengesetzt elektrischen Körpern in Verbindung gekommen sind, keine Spur von Elektricität mehr (ohne daß eine Ableitung stattgefunden hätte), indem sie nun eben sowohl von der einen als von der andern Elektricität angezogen, von keiner von beiden abgestoßen werden. Bedingung dieser Erscheinung ist nur, daß die beiden Hollundermarkkügelchen von gleich großer Oberfläche, und gleich stark elektrisch sind.

Mit größerer Genauigkeit lassen sich hierher gehörige, eine tiefe Einsicht in das Wesen des elektrischen Gegensatzes gewährende Versuche mit zwei gleichen Elektrometern anstellen, welche Brandes beschreibt. Sie bestehen, beide ganz gleich, aus einem Leiter CBDE (Fig. 10.), der sich in E, C, in Kugeln endigt, und auch bei D und F hinreichend abgerundet ist, um kein Ausströmen der Elektricität bei den mäßigen Ladungen, wozu man sie nur anwenden kann, zu gestatten. Der Fuß AB ist von Glas und mit Lack überzogen, um alle Ableitung zu hindern. Neben DE befindet sich ein Strohhalm GH, der in seiner Mitte F auf einer Axe aufliegt, die ihm gestattet, mit Leichtigkeit von DE zurückzuweichen, und der Grabbogen HI zeigt, wie viel er sich in jedem Falle entfernt. Der Strohhalm ist beinahe im Gleichgewichte, jedoch so, daß er mit einigem Uebergewichte zur verticalen Stellung gelangt; da er nun durch die leitende Axe F mit dem Leiter CDE verbunden ist, so wird er abgestoßen, sobald man diesem Leiter kleine Ladungen von Elektricität ertheilt (und zwar desto stärker, je stärker die mitgetheilte Elektricität ist), und wenn gleich die Grade, die man an dem Grabbogen EHI abliest, nicht eigentlich Grade der

Digitized by Google

Elektricität sind, so irrt man doch nicht so gar sehr, wenn man eine Elektricität, die 40° Abstoßung bewirkt, für doppelt so stark, als die, welche 20° Abstoßung bewirkt, ansieht. Zu den nachstehenden Versuchen bedarf man zweier solcher Elektrometer. Brandes fügt dieser Beschreibung noch hinzu: Um sich von der Gleichheit zweier derartiger Elektrometer zu überzeugen, bringt man beide Leiter C D, c d, bei C, c in Berührung, und sieht ob dann die Strohhalme gleiche Grade zeigen, welches man durch kleine Correctionen bewirken kann, wenn es nicht stattfindet. Man gibt dem einen Elektrometer, wenn es mit dem anderen noch nicht in Berührung ist, eine Ladung, die den Strohhalm zum Beispiel auf 40° bringt; man rückt nun das andere noch ungeladene Elektrometer hinan, damit bei C c eine Mittheilung ohne weitere Ableitung stattfinde; dann hat, wegen der ganz gleichen Gestalt (und Größe), jedes der beiden Elektrometer die Hälfte der vorigen Ladung und beide gehen nun nahe genug auf die halbe Anzahl Grade, auf 20°, herab. Trennt man sie nun, entladet das eine durch Berührung mit dem Finger, und läßt durch neue Mittheilung bei C c die Ladung sich wieder halbiren, so kommen beide auf 10°. So wenig streng diese Vergleichung ist, so reicht sie doch in vielen Fällen um so mehr zu, da man den Strohhalm doch immer nur in einiger Entfernung von dem Bogen H I darf vorbei gehen lassen und deßhalb die Beobachtung der Grade nur mittelmäßige Genauigkeit zuläßt.

Mit diesen Instrumenten kann man nun folgende lehrreiche, hierher gehörige Versuche anstellen. Elektrisirt man erstens beide Elektrometer gleich stark mit gleichartiger Elektricität und bringt sie hernach mit C c in Berührung, so findet weder ein Steigen noch ein Sinken der Strohhalmen von demjenigen Grade statt, auf dem sie schon vor dem Aneinanderrücken standen. Macht man zweitens das eine Elektrometer elektrisch bis zu einem gewissen Grade, und das zweite ebenfalls mit der gleichartigen Elektricität, aber bis zu einem niederen Grade, so wird das erste Elektrometer fallen, das zweite dagegen steigen, so daß beide denselben Grad zeigen, und zwar wird dieser Grad derjenige sein, welcher gefunden wird, wenn man die Summe der vor dem Aneinanderrücken von jedem Elektrometer einzeln angezeigten Grade halbirt, so also, daß wenn z. B. das erste Elektrometer 50° zeigte, das zweite 20°, so werden nach der gegenseitigen Berührung beide Elektrometer $35° \left(=\frac{50+20}{2}\right)$ zeigen. Macht man drittens das eine Elektrometer mit Glas elektrisch, das andere mit Siegellack, beide bis auf denselben Grad, und bringt sie dann zur Berührung aneinander, so sinken beide Elektrometer bis auf Null, d. h. werden ganz unelektrisch. Elektrisirt man endlich viertens das eine Elektrometer mit Glas bis auf einen bestimmten Grad, das andere mit Siegellack bis auf einen niederen Grad, so stellen beide Elektrometer bei der Berührung sich auf einen Grad, welcher die Hälfte des Unterschiedes derjenigen Grade ist, welche vor der Berührung die Elektrometer einzeln angaben; zeigte z. B. das erste Glaselektricität habende

Digitized by Google

Elektrometer 50°, das zweite Harzelektricität habende 20°, so zeigen beide Elektrometer nach der Berührung 15° $\left(=\frac{50-20}{2}\right)$. Es haben nämlich im letzten Falle die 20° Harzelektricität entsprechende 20° Glaselektricität aufgehoben, so daß noch 30° Elektricität übrig bleiben, die auf beide Elektrometer gleichmäßig vertheilt, in jedem derselben 15° Erhebung des Strohhalmes bewirken müssen.

Wir sehen aus allen diesen Versuchen, daß sich die beiden entgegengesetzten Elektricitäten ganz so gegen einander verhalten, wie positive zu negativen Größen, indem sie nach Maßgabe ihrer verhältnißmäßigen Stärke einander vermindern oder gänzlich aufheben, und man hat darum in der Elektricitätslehre die wenig passende Bezeichnung Glaselektricität und Harzelektricität aufgegeben und dafür den Gegensatz als den von positiver und negativer Elektricität bezeichnet. Diejenige Elektricität, welche eine mit Wolle geriebene Glasröhre annimmt, wird positive Elektricität genannt, und diejenige, welche eine mit Wolle geriebene Siegellackstange annimmt, negative Elektricität. Das unpassende der früheren Bezeichnungsweise geht daraus schon hervor, daß Glas unter gewissen Umständen (wenn es an einem Katzenfelle gerieben wird, oder matt geschliffen ist), ja am Ende fast jeder Körper sowohl negativ als positiv elektrisch werden kann, um dieß zu erkennen müssen erst noch andere als die bisher besagten Unterscheidungszeichen beider Elektricitäten angeführt werden. Man bezeichnet oft der Kürze wegen die positive Elektricität mit +E, die negative mit −E.

Wir haben bisher die Vorstellung festgehalten, als würde durch Reibung eines Körpers nur eine der beiden Elektricitäten erzeugt, welche von beiden dieß in jedem Falle sei, schien von der individuellen Beschaffenheit des geriebenen Körpers abzuhängen. Sorgfältiger angestellte Beobachtungen lehren aber, daß stets nicht nur der geriebene Körper, sondern auch der reibende Körper (das Reibzeug) elektrisch werde. Im Grunde folgt dieses indeß schon aus dem Vorhergehenden. Beim Reiben ist nämlich eigentlich jeder Körper zugleich reibender und geriebener, insofern jeder den andern reibt; da nun alle Körper durch Reiben elektrisch werden, so muß auch jeder der beiden einander reibenden Körper es werden. Der Grund, warum gewöhnlich die Elektricität des Reibzeuges unbemerkt bleibt, liegt nur darin, daß wir beim Reiben gewöhnlich das Reibzeug unmittelbar in der Hand halten, und daher (namentlich wenn das Reibzeug ein die Elektricität leitender Körper ist) die Elektricität desselben sogleich durch unseren Körper nach der Erde zu ableiten. Isolirt man aber den reibenden so wie den geriebenen Körper, oder sind beide an sich Isolatoren, so zeigen beide Elektricität, und zwar stets der reibende die entgegengesetzte des geriebenen*).

*) Als Ausnahme von dieser Regel ist Sartorph's von Brandes bestätigte Bemerkung anzuführen: daß wenn man zwei Federkiele an einan-

Digitized by Google

Wenn z. B. von zwei auf Isolirschemeln (Schemel mit Glasfüßen) stehenden Personen, die eine die Kleider der anderen mit einem Katzenfell eine Zeitlang schlägt *), so werden beide Personen elektrisch, ziehen kleine leichte Körper an u. s. w. Die eine derselben wird aber positiv, die andere negativ elektrisch; und kleine Körperchen, welche die Elektricität der einen abgestoßen hat, werden von der anderen angezogen.

Um zu untersuchen, welcher von zwei an einander geriebenen Körpern positiv und welcher negativ elektrisch sei, kann man sich des oben schon erwähnten kleinen Hollundermarkkügelchens bedienen, welches an einem dünnen Seidenfaden aufgehängt ist. Mit einem wollenen Körper gerieben wird (glattes) Glas immer positiv, Harz immer negativ elektrisch. Macht man nun das Hollundermarkkügelchen z. B. mit Glas positiv elektrisch, so wird ein elektrischer Körper, welcher dieses Kügelchen abstößt, ebenfalls positiv elektrisch sein, ein Körper dagegen, welcher es anzieht, wird negativ elektrisch sein. Berzelius schlägt vor, eine kleine an den Enden zugeblasene Glasröhre zur Hälfte mit Lackfirniß zu überziehen: so gibt sie beim Reiben auf der lackirten Seite negative Elektricität, auf der anderen aber, wo das Glas bloß ist, positive Elektricität. Wenn man nun dem Hollundermarkkügelchen die Elektricität des zu untersuchenden Körpers mittheilt, so kann man mit jener Glasröhre leicht ausmitteln, von welchem Ende derselben das Kügelchen angezogen oder abgestoßen wird, also ob die dem Kügelchen mitgetheilte Elektricität positiv oder negativ ist. Die geringsten Quantitäten Elektricität, auch nach ihrer Beschaffenheit, ob sie positiv oder negativ sind, werden angezeigt durch das Elektroskop (s. d. Art.).

Einen interessanten Versuch, bei dem der elektrische Gegensatz durch die Bewegung des Anziehens und Abstoßens, so wie durch die Eigenschaft der entgegengesetzten Elektricitäten sich gegenseitig auszugleichen, auftritt, führt Pfaff an. Wenn man nämlich ein an einem seidenen Faden aufgehangenes Hollundermarkkügelchen zwischen zwei Körper bringt, von denen der eine pos., der andere in demselben Grade neg. elektrisch ist; so bewegt es sich zwischen denselben so lange hin und her, bis beide elektrische Körper keine Spur von Elektricität mehr zeigen. Das Kügelchen wird in Bewegung gesetzt durch die elektrische Anziehung und Abstoßung, und theilt dabei dem pos. elektr. Körper fortwährend neg. Elektr. mit, dem negativen pos. Elektr., so lange bis sich die Elektricitäten beider Körper ausgeglichen haben.

Die entgegengesetzten Elektricitäten lassen sich, namentlich wenn sie in stärkeren Graden auftreten, auch noch durch besondere Erschei-

---

der reibt, diese zwar meist der eine pos. der andere neg., zuweilen aber auch beide pos. elektrisch werden. Brandes meint, diese Erscheinung müsse auf etwas zufälligem beruhen.

*) Die eine Person kann auch eine Glasröhre halten, und die andere diese mit Seidenzeug reiben.

nungen unterscheiden, die einer jeden von ihnen besonders zukommen. Berzelius beschreibt dieselben, indem er sagt: die positive Elektricität unterscheidet sich von der negativen in vielen Fällen sehr deutlich:

1) Durch die Figuren, die ein auf einen elektrischen Körper gesiebtes feines Pulver bildet; wenn man z. B. auf einen Harzkuchen einen metallenen Knopf stellt, und einen Funken von pos. Elektr. darauf schlagen läßt; so entsteht, wenn man den Knopf mittelst einer Siegellackstange weghebt, und ein wenig gepulvertes Harz oder auch gewaschene und wieder getrocknete Schwefelblumen über die elektrische Stelle siebt, eine sternförmige runde Figur. Stellt man den Versuch mit neg. Elektr. an, so entsteht auch eine runde Figur, aber ohne Strahlen mit dendritenähnlichen Veräftelungen. Der Versuch gelingt, selbst wenn man vor dem Elektrisiren das Pulver auf die Scheibe siebt.

2) Durch den Geschmack, wenn man die Elektricität aus einer elektrischen Spitze auf die Zunge ausströmen läßt, wo die positive einen säuerlichen, die negative aber mehr einen brennenden alkalischen Geschmack erregt.

3) Durch die verschiedenartigen chemischen Erscheinungen, welche sie in den Körpern, besonders in flüssigen Stoffen hervorbringen; so verwandelt z. B. pos. Elektr., die aus einer Spitze auf angefeuchtetes Lackmuspapier ausströmt, dessen blaue Farbe in Roth, zum Beweise, daß eine Säure dabei gebildet wird, und wenn der nämliche Versuch mit einer negativ elektrischen Spitze gemacht wird, entsteht kein rother Fleck, und man gibt sogar an, daß der von der positiv elektrischen Spitze hervorgebrachte verschwinde.

4) Durch ihr verschiedenes Licht. Wenn man positive Elektricität aus einer etwas stumpfen Spitze ausströmen läßt, so bildet sich ein oft mehre Zoll langer, röthlich blauer Lichtbüschel; läßt man aber neg. Elektr. aus derselben Spitze ausströmen, so zeigt sich bloß ein leuchtender Punkt. Im luftleeren Raume fallen diese Erscheinungen noch mehr in die Augen.

5) Durch den Umstand, daß verschiedene Körper, unter gewissen Verhältnissen, die eine Elektricität leicht leiten, die andere aber nur höchst schwierig durch sich durchgehen lassen. (S. d. Art. Leiter.)

Es sind von sehr vielen und ausgezeichneten Physikern eine Menge von Versuchen angestellt worden, um ein Gesetz zu entdecken, nach welchem man im Voraus aus den übrigen Eigenschaften eines Körpers bestimmen könnte, ob er mit einem anderen Körper gerieben, positiv oder negativ elektrisch werden werde. Es ist indeß noch nicht gelungen, ein derartiges allgemein gültiges Gesetz aufzufinden. Allerdings aber scheinen die sonstigen Eigenschaften der Körper bestimmend auf die Art der Elektricität desselben einzuwirken. So haben die Versuche gezeigt, daß meistentheils je härter ein Körper ist, desto mehr derselbe geneigt sei, positiv elektrisch zu werden. So hat man gefunden, daß

Digitized by Google

der Diamant, der härteste aller bekannten Körper, mit welchen Körpern man ihn rieb, positiv elektrisch wurde; daß alle Edelsteine, welche härter als Glas sind, mit diesem gerieben positiv, das Glas also dabei negativ elektrisch wurde. Hauy fand, daß Siegellack, welches härter als Talk und Bildstein, weicher als Glimmer ist, mit jenen gerieben positiv, mit diesem negativ elektrisch wird. Es finden sich aber auch viele Ausnahmen, Fälle, wo ein weicher Körper mit einem harten gerieben, positiv elektrisch wird, so wie z. B. das weiche Katzenfell mit allen Körpern positiv elektrisch wird. — Die Temperatur wirkt ebenfalls bestimmend auf den elektrischen Gegensatz, und dieser Einfluß läßt sich, da die Wärme alle Körper ausdehnt, auf den Einfluß der Härte der Körper zurück beziehen. Man hat nämlich gefunden, daß wenn man zwei übrigens gleich beschaffene Isolatoren an einander reibt, derjenige, welcher der wärmere ist, stets negativ, der kältere dagegen positiv elektrisch wird. Auch kommt es vor, daß ein Körper mit einem bestimmten anderen gerieben, wenn beide gleiche Temperatur haben, positiv, ist dagegen die Temperatur des letzteren höher als die des ersten, negativ elektrisch wird. So z. B. führt Brandes an, daß weiße Seide an trockenem Papier gerieben negativ elektrisch werde, das Papier positiv; aber weiße Seide an erwärmten Papier gerieben positive, das Papier negative Elektricität zeige. Reibt man zwei gleiche Körper (zwei Glasröhren, Siegellackstangen, Seidenfäden, Wollenfäden u. s. w.) an einander so, daß bei der Reibung der eine Körper nur an einer Stelle, der andere dagegen seiner ganzen Länge nach gerieben wird, (dieß geschieht, wenn man die lang ausgedehnten Körper kreuzweis über einander legt, und den einen bewegt, während der andere ruht), so erwärmt sich die geriebene kleine Stelle des ersten stärker, als die größere des anderen Körpers, und die Folge ist, daß jener Körper negativ, dieser positiv elektrisch wird. — Auch die Beschaffenheit der Oberfläche, je nachdem dieselbe rauh oder glatt ist, zeigt sich von Einfluß. Wenn man nämlich zwei sonst gleichartige Körper, von denen der erste eine glatte, der zweite eine rauhe Oberfläche hat, an einander reibt, so wird der glatte Körper positiv, der rauhe negativ elektrisch. Vielleicht liegt der Grund zunächst darin, daß der rauhe Körper bei der Reibung mit dem glatten wärmer als dieser, und von der höheren Temperatur zu negativer Elektricität bestimmt wird. — Die Farbe wirkt ebenfalls bestimmend auf den elektrischen Gegensatz. Man reibe weiße und schwarze Seide an einander, so wird die erste positiv, die zweite negativ elektrisch werden. Auch diese Erscheinung läßt sich mit den vorerwähnten in Beziehung bringen, da nach Pfaff dieser Einfluß der Farbe mit der Rauhheit oder Glätte der Oberfläche zusammenhängt. Denn die weiße Seide tritt mit der schwarzen (welche ihre Farbe den Galläpfeln verdankt), in gleiche Kategorie, wenn sie in Galläpfeltinktur getaucht wird. Bei Körpern deren Eigenschaften (innere und äußere), welche von Einfluß auf Elektricitätserregung, alle gleich sind, ist nichts vorhanden, was den einen Körper positiv, den anderen negativ elektrisch machen sollte, daher beim Reiben derselben an einander gar keine Elektricität

Digitized by Google

auftreten kann *). Nur wird eine absolute Gleichheit zweier Körper selten oder nie stattfinden.

Derjenige Körper, der mit allen Körpern, die man bis jetzt mit ihm gerieben hat, positiv elektrisch wird, ist das Katzenfell, so wie der Schwefel bei der Reibung mit anderen Körpern, wie es scheint, stets negativ elektrisch wird. Zwischen diese beiden Körper kann man sich nun alle übrigen Körper so geordnet denken, daß, je mehr ein Körper geneigt ist, bei der Reibung mit anderen Körpern positiv elektr. zu werden, desto näher er dem Katzenfell stehe, je mehr er dagegen geneigt ist, negativ elektrisch zu werden, desto näher dem Schwefel. Auf diese Weise erhält man eine elektrische Spannungsreihe der Körper, in der, wenn sie mit Katzenfell anfängt, jeder Körper mit jedem der hinter ihm stehenden gerieben positiv, und mit jedem der vor ihm stehenden gerieben negativ elektrisch wird, und zwar desto stärker, je weiter in der Reihe beide Glieder von einander entfernt sind. Zunächst hat man die Isolatoren der Elektricität in eine derartige Reihe zusammen zu stellen gesucht; Pfaff theilt folgende mit:

Katzenfell, Diamant, Kaninchenfell, Hasenfell, Turmalin, Glas, Wolle, Papier, weiße Seide, schwarze Seide, Siegellack, Colophonium, Bernstein, Schwefel.

Nach Ritter lassen sich aber nicht bloß die Isolatoren in dieser Weise zusammenreihen, sondern überhaupt alle Körper, Leiter und Isolatoren, so daß die Glieder der Reihe der Leiter zwischen denen der Reihe der Isolatoren eben so vertheilt liegen, als gegen sich unter einander selbst, und umgekehrt die Glieder der Reihe der Isolatoren zwischen den Leitern in derselben Reihefolge, in der sie für sich geordnet stehen. Z. B.

Diamant, Zink, Glas, Kupfer, Wolle, Silber, schwarze Seide, natürliches Braunsteinoxyd (Grau Manganerz), Schwefel.

So viele Versuche auch schon über die elektrischen Eigenschaften der Körper angestellt worden sind, so sind sie doch immer nicht hinreichend, um jedem bekannten Körper seine Stellung in der elektrischen Spannungsreihe mit Sicherheit anzuweisen, um so weniger, da die Physiker selbst keineswegs überall einig sind, ob ein gewisser Körper bei der Reibung mit einem anderen Körper allemal positiv oder negativ elektrisch werde. So z. B. hat Coulomb gefunden, daß Zink, Silber, Kupfer, Blei, wenn sie an einem wollenen Tuche gerieben werden, positiv elektrisch wurden, wogegen Brandes fand, daß Kupfer und Messing negativ elektrisch werden, wenn man sie mit Seide, Wolle oder weichem Leder reibt. Silber fand Brandes, an einem Siegellackstiele isolirt gehalten, an Seide und Wolle nie an-

*) So soll in dem oben angeführten Versuche, wo weiße Seide mit erwärmtem Papier gerieben pos., das Papier neg. elektrisch wird, beim Erkalten des Papiers dieser Gegensatz immer mehr herabsinken, bis ein Moment eintritt, in dem das Reiben beider Körper an einander gar keine Elektricität hervorbringt, bis nachdem dieser Moment bei weiterem Erkalten des Papieres vorüber, die Seide neg., das Papier pos. elektrisch wird.

Digitized by Google

ders, als negativ; auch an Siegellack gerieben wurde es negativ elektrisch; es ist Brandes sogar gelungen, eine polirte Platte feinen Silbers an einer glatten Oberfläche gegossenen Schwefels gerieben, negativ und Schwefel positiv zu erhalten, welches gänzlich gegen die oben angegebene Spannungsreihe ist. Hauy hat besondere Versuche über das Verhalten der Metalle und Erze angestellt. Er klebte ein Stückchen des zu prüfenden Minerals (nachdem er es, wenn es z. B. ein Metall war, zuvor eben gefeilt hatte) durch Wachs an eine Stange Siegellack, fuhr dann mit demselben auf einem Stück Tuch 5 bis 6 mal hin und her, und berührte damit die Collectorplatte des Condensators. Diese Operation wurde mehremale wiederholt; wurde dann der obere Deckel aufgehoben, so gingen die Strohhälmchen des Elektrometers mit pos. oder neg. Elektr. aus einander. Hauy fand auf diese Weise, pos. Elektr. gaben: Zink (stark), Silber, Wismuth (stark), Kupfer, Blei, Eisenglanz; neg. Elektr.: Platin, Gold, Zinn, Antimon, Kupferfahlerz (stark), Kupferglanzerz (stark), Bleiglanz, Schwefelerz (stark), Antimonsilber, Glaserz (stark), Kupfernickel, Glanzkobolt, gemeiner Speiskobolt, graues Antimonerz, Schwefelkies, magnetischer Eisenstein. Dieses Verhalten zeigte sich im Ganzen gleichbleibend, nur Eisenglanz, magnetischer Eisenstein und auch Stahl zeigten in verschiedenen Exemplaren ein verschiedenes Verhalten. Aehnliches fand Hauy beim Cyanit. Einige Krystalle des genannten Minerales nämlich zeigten stets nach dem Reiben pos. Elektricität, andere stets negative; bei einigen traten beide Elektricitäten auf zwei entgegenstehenden Flächen auf, ohne daß irgend ein Unterschied beider Flächen zu bemerken war.

Nicht bloß zwischen festen Körpern findet Reibung und dadurch Elektricitätserregung statt, sondern auch zwischen tropfbarflüssigen, gasförmigen und festen Körpern. Beispiele sind das Leuchten der Barometerröhren (s. Barometer Th. I. S. 195.), welches von der Reibung des Quecksilbers an dem Glase der Röhre und der dadurch erregten Elektricität herrührt. Daß dieses Leuchten eine elektrische Erscheinung sei, kann man nach Biot darthun, wenn man einen cylindrischen Glasrecipienten an die Luftpumpe befestigt, dessen oberes Ende durch eine hölzerne Schale, in welche man Quecksilber gießt, geschlossen ist. Pumpt man nun die Luft aus dem Recipienten aus, so sickert das Quecksilber in Folge des (keinen Widerstand innerhalb des Recipienten mehr findenden) Druckes der Luft durch die Poren des Holzes und fällt als ein feiner Regen herab, der an die Wände des Glascylinders anschlägt. Wenn man jetzt diesem ein an einem seidenen Faden hängendes Hollundermarkkügelchen nähert, so wird dasselbe angezogen, ein Beweis, daß Elektricität erregt worden ist. Biot bemerkt, daß zum Gelingen des Versuches erforderlich ist, daß der Cylinder ganz trocken sei, damit er nicht die jedenfalls nur sehr schwache Elektricität verliert, welche durch die Reibung des Quecksilbers an seiner Oberfläche erregt wird. — Auch die Luft kann durch Reibung feste Körper elektrisch machen. Wenn man mittelst eines Blasebalges einen Strom atmosphärischer Luft gegen die Oberfläche einer Glasplatte richtet, so

Digitized by Google

nimmt diese pos. Elektr. an; und wenn man ein seidenes Tuch in der Luft schwenkt, so wird es neg. elektrisch.

Da in allen Körpern Elektricität erzeugt werden kann, diese aber je nach Beschaffenheit des anderen Körpers, mit dem ein Körper gerieben wird, positiv oder negativ (+ E oder — E) ist, welche entgegengesetzten Elektricitäten sich gegenseitig aufheben (oE), so kann man annehmen, daß jeder Körper sowohl pos. als neg. Elektr. enthalte, welche sich gegenseitig **binden**, daß aber bei der Elektricitätserregung immer eine dieser Elektricitäten als **freie** Elektr. auftrete.

Im Obigen, S. 88. ff. ist gezeigt worden, wie, wenn ein unelektrischer Körper, namentlich ein Leiter in unmittelbare Berührung mit einem elektrischen Körper gebracht werde, oder in die nächste Umgebung desselben (bis zur Größe der Schlagweite); derselbe durch Mittheilung eines Theiles der Elektricität des elektr. Körpers selbst elektr. werde. Ein positiv elektrischer Körper theilt pos., ein neg. elektrischer neg. Elektricität mit. Nähert man aus einer größeren Entfernung einem elektrischen Körper einen anderen Körper, so zeigt sich aber eine elektr. Wirksamkeit des ersten Körpers auf den zweiten schon aus einer weit größeren Entfernung, als diejenige ist, in der eine Mittheilung der Elektricität stattfinden kann. Jeder elektr. Körper hat so gleichsam eine **Atmosphäre**, in welcher er die Körper in einer sogleich näher zu beschreibenden Weise afficirt, oder einen **Wirkungskreis** seines elektr. Einflusses. Jeder Körper, welcher in diese Atmosphäre tritt, wird, wenn er nicht schon vorher selbst elektrisch war, elektrisch, aber diese Elektricität ist, sobald nicht bei einer größeren Annäherung Mittheilung der Elektricität stattfindet, in dem genäherten Körper selbst erregt, nicht von diesem dem elektr. Körper entzogen worden, weil wie die Untersuchung lehrt, der zuerst elektrische Körper keine Abnahme der Elektricität erleidet. Die Beschreibung einiger Versuche wird am besten die Lehre von der **Vertheilung der Elektricität** erklären, worunter man alle Erscheinungen begreift, welche unterschieden von der Mittheilung der Elektricität innerhalb des Wirkungskreises eines elektrischen Körpers als Wirkungen dieses auf einen anderen Körper auftreten.

Wenn (Fig. 11.) der Conductor einer Elektrisirmaschine ist, welcher pos. elektr. sei, und man bringt demselben einen isolirten Leiter B (einen länglichen cylinderförmigen an den Enden halbkugelförmig abgerundeten Körper) nahe, aber doch nicht so nahe, daß die kleinste Entfernung beider Körper von einander gleich der Schlagweite des elektr. Körpers oder kleiner als dieselbe ist (denn dann würde Mittheilung der Elektricität stattfinden), so wird der genäherte Körper B auch elektrisch. Die Gegenwart seiner Elektricität kann man dadurch bemerklich machen, daß man an verschiedenen Punkten seiner Oberfläche mittelst etwas weichen Wachses paarweise an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen anbringt, wie die Figur zeigt. Diese Kügelchen stoßen sich, sobald der Körper B in die elektr. Atmosphäre von A kommt, gegenseitig ab, und zwar am stärksten an den Enden des Körpers B, schwächer nach der Mitte zu. Prüft man diese Elektricität mittelst des

Digitized by Google

Elektroskops, so findet sich, daß der Körper B an dem Ende, welches dem elektr. Körper A zugewendet ist (wenn, wie vorausgesetzt wurde, A pos. elektr. ist) negat. elektr. ist, an dem anderen von A abgekehrten Ende dagegen pos. elektrisch; in der Mitte zwischen beiden Enden findet sich ein Punkt, welcher weder neg. noch pos. Elektr. zeigt, der sich also indifferent (gleichgültig) in Bezug auf Elektricität zeigt, den man darum einen Indifferenzpunkt nennt, und an welchem die Hollundermarkkügelchen auch nicht aus einandergehen, wenn sie genau von ihm herabhängen. Stellen wir uns nun den Zustand eines unelektrischen Körpers so vor, daß beide Elektricitäten so gleichmäßig über seine Oberfläche verbreitet sind, daß an jedem Punkte desselben posit. und negat. Elektr. gleich sind, also sich in der Art aufheben oder gegenseitig binden, daß keine von beiden bemerkbar ist; so muß man die Erscheinung, welche auftritt, sobald dieser Körper isolirt in die Atmosphäre eines elektrischen Körpers gebracht wird, so bezeichnen, daß man sagt: beide Elektricitäten, welche vorher gleichmäßig über den ganzen Körper ausgebreitet waren, werden nun durch den Einfluß des elektrischen Körpers so vertheilt, daß sich die eine Elektricität nach dem einen Ende des Körpers, die andere nach dem anderen Ende desselben hin anhäuft, daß also beide nach den Enden zu mehr und mehr bemerklich hervortreten.

Ich muß hier bemerken, daß Pfaff bei Wiederholung dieses Versuches, welchen Biot in angegebener Weise beschreibt, gefunden hat, daß der genäherte vorher nicht elektrische Körper, durchaus nur einerlei Elektricität zeige, und zwar gleichnamige mit derjenigen, welche der elektrische Körper, in dessen Atmosphäre er gebracht ist, zeigt. Nach Pfaff findet folglich auch kein Indifferenzpunkt der Elektricität statt. Pfaff ist der Meinung, daß die pos. und neg. Elektr. so über den ganzen Körper durch Vertheilung ausgebreitet werde, daß überall sowohl die eine als die andere gegenwärtig sei, aber allerdings jede derselben sich mehr nach dem einen Ende zu anhäufe. Diese Annahme wird durch einen alsbald anzuführenden Umstand bestätigt. Das Nichtbemerktwerden der negativen Elektricität, wenn der vertheilende Körper positiv elektrisch ist, kann dann nur dadurch erklärt werden, daß man annimmt, die in dem genäherten Körper hervorgerufene neg. Elektr. werde durch die pos. Elektr. des vertheilenden Körpers gebunden, während die pos. Elektr. desselben bemerkbar bleibt. Auch diese Annahme findet ihre weitere Bestätigung; und auch der Umstand spricht für dieselbe, daß während sich B in der Atmosphäre von A befindet, die positive Elektricität von A geschwächt erscheint, indem so wie die neg. Elektr. in B gebunden wird, ein gleicher Theil pos. Elektr. von A unwahrnehmbar werden muß.

Zieht man ohne den Körper B zu berühren, denselben aus der elektr. Atmosphäre des Körpers A zurück, so sinken alsbald die vorher divergirenden Hollundermarkkügelchen wieder zusammen und der Körper zeigt keine Spur von Elektricität mehr; und untersucht man den Körper A, so findet sich, daß er nicht mehr Elektricität verloren habe, als er auch, wenn kein Körper B in seine elektr. Atmosphäre gebracht

Digitized by Google

worden wäre, durch die ihn umgebende Luft verloren haben würde. Hieraus folgt, daß durchaus keine Mittheilung von Elektr. stattgefunden habe.

Bringt man hierauf den Körper B aufs neue in die elektr. Atmosphäre von A, so wiederholt sich die frühere Erscheinung: die Hollundermarkkügelchen divergiren. Nun aber berühre man den Körper B, so erhält man einen kleinen Funken, und sogleich zeigt sich alle pos. Elektr. auf dem Körper B verschwunden. Nach Biot divergiren nun die Hollundermarkkügelchen an dem vom Körper A abgewendeten Ende von B gar nicht mehr, die am A zugekehrten Ende von B dagegen desto stärker. Nach Pfaff dagegen divergiren alle Hollundermarkkügelchen nicht mehr, so lange sich B noch in der Atmosphäre von A befindet, aber sobald B aus dieser herausgerückt werden, divergiren sie. Dieß stimmt ganz mit der obigen Annahme, daß die neg. Elektr. des Körpers B innerhalb der Atmosphäre von A durch die pos. Elektr. des Körpers A gebunden werde. Nach Biot muß man, um B die pos. Elektr. zu entziehen, dieselbe durchaus an dem von A abgekehrten Ende berühren, nach Pfaff wird sie auch abgeleitet, wenn B an dem A zugekehrten Ende berührt wird, und dieses bestätigt Pfaffs Annahme, daß die pos. sowohl als die neg. Elektr. über den ganzen Körper B ausgebreitet sei. Nähere Untersuchung zeigt, daß auch durch den zuletzt angeführten Versuch der Körper A an Elektricität nicht verliert, so oft der Versuch auch wiederholt werden mag *).

Daß in dem letzten Falle der Körper B durch Vertheilung elektrisch wird, ist leicht erklärlich. Durch Einfluß der Atmosphäre des elektr. Körpers A ist die pos. Elektr. von der neg. Elektr. getrennt worden, durch die Berührung wird die pos. Elektr. B entzogen, nicht aber die neg., weil diese durch die pos. Elektr. von A gebunden ist, folglich bleibt im Körper B nur noch neg. Elektr. zurück, die nicht bemerkt werden kann, so lange sie von der pos. Elektr. des Körpers A gebunden ist, so wie aber B aus aller Verbindung mit A tritt, wahrgenommen wird.

Die Pfaff'sche Beobachtung erhält eine Bestätigung durch einen Versuch, den Röslin angegeben hat. Man schraube an das eine Ende eines auf einem Glasfuße isolirten cylindrischen Leiters, an dessen anderem Ende zwei Hollundermarkkügelchen hängen, eine ganz glatte und breite Metallplatte an, und nähere dieser eine geriebene, also positiv elektrische Glasstange, so gehen die Kügelchen mit positiver

*) Ich würde die Biot'sche Beschreibung des Versuches, welche allerdings fehlerhaft zu sein scheint, gar nicht mitgetheilt haben, wenn sie nicht in fast allen und den vorzüglichsten Lehrbüchern der Physik (von Brandes, Baumgärtner, Muncke, Stemler u. a.) aufgenommen wäre. Die darin enthaltene Theorie ist nur insofern unrichtig, als keine Rücksicht darauf genommen ist, daß die entgegengesetzten Elektricitäten beider (des elektr. und des nicht elektr.) Körpers innerhalb der elektr. Atmosphäre sich binden.

Digitized by Google

Elektricität aus einander. Berührt man die der Glasstange zugekehrte Fläche der Metallplatte mit einem nicht isolirten Leiter, z. B. dem Finger, so fallen sie eben so gut zusammen, wie wenn man das abgekehrte Ende unmittelbar berührt hätte; entfernt man zuerst die Finger und dann auch die Glasstange, so gehen die Hollundermarkkügelchen abermals, aber mit negat. Elektr. aus einander, und der Leiter ist auf seiner ganzen Oberfläche neg. elektrisch.

Die erwähnten Versuche finden auf eine ganz entsprechende Weise statt, wenn der Körper A negativ elektrisch war. Dann wird B nach der Berührung und Herausnahme aus der Atmosphäre von A pos. elektr. erscheinen.

Ist der nicht elektrische Körper, welchen man in die elektrische Atmosphäre eines anderen Körpers bringt, ein schlechter Leiter oder Isolator der Elektricität, so wird die entgegengesetzte Elektricität in ihm ebenfalls hervorgerufen, allein nicht über seine ganze Oberfläche gleichmäßig, wie dieses auch schon aus dem Begriffe eines schlechten Leiters der Elektricität folgt, indem ein solcher der Verbreitung der Elektricität einen desto größeren Widerstand entgegensetzt, ein je besserer Isolator er ist. Die unmittelbare Einwirkung des elektrischen Körpers, in dessen Nähe sich ein schlechter Leiter befindet, wird daher nur auf eine kurze Strecke auf diesem sich verbreiten. Es wird so z. B., wenn der zuerst elektrische Körper positiv elektrisch war, in dem ersten Theile des schlechten Leiters negative Elektricität erzeugt werden. Dieser nun auch elektr. Theil des schlechten Leiters wirkt aber wieder auf den ihm zunächst liegenden, und zwar so, daß er pos. Elektr. erzeugt, und dieser wieder auf einen folgenden, u. s. w., daher kommt es, daß sich um den schlechten Leiter allmählig eine Reihe von Zonen bilden, welche abwechselnd positiv und negativ elektrisch sind, und zwischen sich Indifferenzpunkte liegen haben. Diese Elektricitäten werden aber, je weiter ab vom zuerst elektrischen Körper immer schwächer, und verschwinden endlich ganz.

Ein Experiment von Remer macht es möglich in einem Leiter beide Elektricitäten getrennt darzustellen, so daß zwischen ihnen ein Indifferenzpunkt liegt. Nach Pfaff bediente sich derselbe einer Elektrisirmaschine mit Cylinder, die wie einen isolirten Leiter beim Cylinder (welcher die pos. Elekr. aufnimmt), so auch beim Reibzeuge einen die neg. Elekr. auffammelnden isolirten Leiter (Conductor) hatte. A ist (Fig. 12.) der positive, B der negative Conductor, beide isolirt; c und d sind geschärfte Drähte, welche auf die Conductoren gesteckt werden, und E F ist ein gebogener Drath, der isolirt über dem Cylinder der Maschine so aufgehängt ist, daß das Ende E desselben von der Spitze c und das Ende F von der Spitze d nur 1, 5 Zoll absteht. Wurde der Cylinder der Maschine in Bewegung gesetzt; so zeigte sich auf der Spitze d ein Strahlenpunkt, an F ein Büschel, an E ein Punkt, an c ein Büschel. Hieraus ergibt sich also, daß die beiden entgegengesetzten Enden des Drahtes E F mit freier entgegengesetzter Elektricität auftraten, indem der Strahlenpunkt an E auf negative, der

Strahlenbüschel an F auf positive Elektricität hinweist*). Aber nicht bloß diese Endpunkte zeigen entgegengesetzte Elektricitäten, sondern auch die beiden Hälften des Drahtes; denn an seidenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen, positiv elektrisch gemacht, wurden von allen Punkten der einen Hälfte von F nach I abgestoßen, von allen Punkten der anderen Hälfte angezogen, was nur nur unter der Bedingung möglich war, daß I gar keine Elektricität hatte. Die Stelle des elektrischen Indifferenzpunktes an dem Drahte konnte dadurch verändert werden, daß man den positiven oder negativen Leiter mit dem Erdboden in Verbindung setzte. Wurde z. B. der neg. Leiter B mit dem Erdboden verbunden, so war zwar in Ansehung der Lichterscheinungen an den Spitzen alles wie im vorigen Versuche, aber der Indifferenzpunkt lag nun nicht mehr in I, sondern der Draht war von F bis x positiv elektrisch, vor x bis E hingegen negativ, und der Indifferenzpunkt lag in x. Als darauf der Conductor A mit dem Erdboden verbunden und B wieder isolirt wurde, so fand sich bei fortdauernden gleichen Lichterscheinungen der Draht zwischen E und y negativ, zwischen y und F positiv; folglich war nun y der Indifferenzpunkt geworden. — Warum in dem eben erwähnten Falle die entgegengesetzte Elektricität, welche durch Vertheilung als Wirkung der Conduktoren in dem Drahte auftritt, nicht gebunden von der Elektricität der Conductoren, sondern frei erscheint, das schreibt Pfaff der eigenthümlichen Wirkung der Spitzen und der daraus folgenden Bewegung der Elektr. zu.

Das Gesetz der elektrischen Vertheilung läßt sich nach dem vorhergehenden folgendermaßen aussprechen: Jeder elektrische Körper hat die Neigung in einem ihm genäherten Körper, die der seinen entgegengesetzte Elektricität hervorzurufen, indem er die in dem Körper, so lange er nicht elektrisch war, gegenseitig sich bindenden Elektricitäten trennet, und die der seinen ungleichnamige nach dem ihm zugekehrten Theile des Körpers zieht, zugleich aber die der seinen gleichnamige Elektricität nach der entgegengesetzten Seite zurückzudrängen sucht. Man sieht, wie dieses Gesetz durch jenes oben S. 94. aufgestellte allgemeinere bedingt wird, daß gleichnamige Elektricitäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

Noch aber ist ein Fall zu betrachten, nämlich die Wirkung eines elektrischen Körpers auf einen andern in seine Nähe kommenden gleichfalls elektrischen Körper. Bleibt der eine dieser Körper nicht isolirt, so verliert er durch die Verbindung mit dem Erdboden seine Elektricität, und verhält sich folglich wie ein überhaupt nicht elektrischer Körper, d. h. er wird, wenn man die Verbindung mit dem Erdboden erst aufhebt und ihn dann isolirt aus der Atmosphäre des andern elektrischen Körpers herausnimmt, die der Elektricität dieses Körpers entgegenge-

*) Vergl. oben S. 98. 4).

setzte Elektricität zeigen. Sind dagegen beide Körper isolirt und entgegengesetzt elektrisch, so wird einer den anderen fähig machen, die ihm eigenthümliche Elektricität noch zu erhöhen, unfähiger sie von sich zu geben. In den genäherten Theilen beider Körper müssen sich die entgegengesetzten Elektricitäten stärker anhäufen, und dadurch die von einander abgekehrten Enden schwächer elektrisch werden*). — Sind endlich beide einander genäherte Körper gleichnamig elektrisch und isolirt, so findet die entgegengesetzte Erscheinung statt. Die Spannung der freien Elektricität wird erhöhet, die Körper werden unfähiger neue gleichnamige Elektricität aufzunehmen, fähiger die Elektricität zu verlieren.

Die Erfahrungen über die Vertheilung der Elektricität werfen vieles Licht auf die Erscheinungen der Mittheilung der Elektricität, welche oben betrachtet worden. Wenn man den elektrischen Gegensatz und das Gesetz der Vertheilung nicht berücksichtigt, so könnte man sich die Mittheilung der Elektr. so denken, wie man etwa Wasser aus einem Gefäße in ein anderes Gefäß übergießen, diesem mittheilen kann. Jetzt aber erscheint die Mittheilung als ein Resultat der Vertheilung. Indem nämlich ein nicht elektrischer Körper einem elektrischen nahe gebracht wird, bringt dieser in jenem eine Trennung beider Elektricitäten (+E und —E) hervor, und strebt zugleich sich mit der der seinigen ungleichnamigen Elektricität desselben zu verbinden, diese Vereinigung der ungleichnamigen Elektricitäten tritt auch wirklich bei noch größerer Annäherung der Körper an einander ein, und die Folge ist, daß wie dem vorher nicht elektrischen Körper nun die eine Elektricität entzogen wird, die andere fortan frei in ihm auftritt. Es geschieht bei der Mittheilung das entgegengesetzte wie in dem zuerst angeführten Versuche bei der Vertheilung, dort wird die ungleichnamige, hier die gleichnamige Elektr. (in Bezug auf den die Mittheilung oder Vertheilung bewirkenden Körper) entzogen, und übrig bleibt das einemal die gleichnamige, das anderemal die ungleichnamige Elektricität. Ist nämlich (Fig. 11.) A positiv elektrisch, B indifferent, und nähere ich B an A, so trennen sich in B die Elektricitäten, berühre ich jetzt B mit dem Finger und ziehe dann B zurück, so habe ich ihm pos. Elektr. genommen, und der B zeigt sich neg. elektrisch. Hätte ich dagegen B statt ihn zu berühren und zurück zuziehen noch näher an A gebracht, so hätte pos. Elektr. sich mit der neg. Elektr. von B gleichmäßig verbunden (durch Ueberspringen eines Funkens, Mittheilung) und in B wäre folglich positive Elektricität geblieben. So scheint es, als hätte B seine positive Elektricität von A erhalten. Es ist aber auch klar, daß B nur so viel pos. Elektr. haben muß, als A verloren hat. Denn bei der Vereinigung entzieht die pos. Elektr. aus A eine ihr gleich große Quantität neg. Elektr. aus B und diese macht eine gleich große Quantität

*) Und wenn die Pfaff'sche oben angeführte Beobachtung richtig ist: (wenigstens zum Theile je nach der größern oder geringeren Annäherung) sich gegenseitig binden, bis zur endlichen Vereinigung durch den Funken.

Digitized by Google

pos. Elektr. in B frei, weil sich nur gleichgroße Quantitäten pos. und neg. Elektricität gegenseitig aufheben, wie S. 95 f. gezeigt worden, und nun demgemäß auch angenommen werden muß, daß wo einem unelektrischen Körper eine bestimmte Quantität der einen Elektricität entzogen wird, eine gleich große Quantität der anderen Elektr. frei wird.

Das Phänomen des Anziehens und Abstoßens kleiner Körper durch elektrische Körper ist nun auch vollkommen klar. In dem nicht elektrischen kleinen Körper werden bei der Annäherung an den z. B. pos. elektrischen Körper erst beide Elektricitäten getrennt, die neg. Elektr. des kleinen Körpers strebt sich mit der pos. des großen Körpers zu vereinen, der kleine Körper wird folglich angezogen, die Vereinigung geschieht, alle neg. Elektr. ist ihm entzogen, indem der große Körper ein gleich großes Theilchen pos. Elektr. aufgab, die noch übrige pos. Elektr. des großen Körpers stößt den nur noch pos. elektr. kleinen Körper ab. Entzieht man diesem nun durch Berührung seine pos. Elektr., so wird er wieder durch Vertheilung angezogen, durch Berührung tritt Mittheilung ein, durch diese Abstoßung u. s. f. bis endlich alle pos. Elektricität des großen Körpers, durch fortwährende Aufhebung eines Theiles derselben bei der wiederholten Berührung mit dem kleinen Körper verschwunden ist. Man sieht endlich nun auch, warum ein stark z. B. positiv elektrischer Körper einen kleinen ebenfalls pos. elektr. dennoch statt abzustoßen wieder anziehen kann, wenn derselbe ihm schnell genähert wird, der stark pos. Körper wirkt nämlich auf den schwach pos. durch Vertheilung so ein, daß aufs neue in ihm auch neg. Elektr. erzeugt, und deßhalb der kleine Körper angezogen wird.

In dem bisher über Elektricität gesagten, ist überall nur von solcher Elektr. die Rede gewesen, welche durch Reibung erzeugt wird. Es gibt indeß fast keinen Conflict, in den die verschiedenen Stoffe mit einander kommen können, bei dem nicht mehr oder weniger auch elektrische Erscheinungen auftreten. Vielleicht wird jede Veränderung in der Körperwelt von Elektricität, wenn nicht bedingt, doch begleitet. Im Allgemeinen kann man die Wirkungen der Körper auf einander in mechanische und chemische eintheilen, von denen die ersteren Formveränderungen der Körper, die letzten Veränderungen ihrer wesentlichen Beschaffenheit hervorbringen. Hierzu kommen dann noch diejenigen Veränderungen der Körper, welche dieselben unter dem Einflusse der sogenannten Imponderabilien (unwägbaren Stoffe) erleiden. Bei allen diesen Veränderungen treten wenigstens in bestimmten Fällen nachweisbare elektrische Erscheinungen auf. Zum Theil hat die Elektricität besondere Namen erhalten, je nachdem sie bei einer bestimmten Klasse von Veränderungen der Körper, also unter bestimmten Bedingungen und in einer bestimmten Weise hervortritt. Die am längsten bekannte Elektricität ist die durch Reiben erzeugte, die Reibungselektricität oder gemeine Elektricität, daher von dieser auch zuerst zu sprechen war. Erscheinungen, welche noch sonst in der Natur vorkommen, können nur dann für elektrisch gelten, wenn sie denen entsprechen, welche auch durch Reibungselektricität hervorgebracht werden. Ich will nun auch noch die anderen bekannten Erregungsmittel der Reihe nach aufführen, und

Digitized by Google

bei denen, die unter eigenen Artikeln behandelt werden, auf diese verweisen.

Die mechanischen Erregungsmittel der Elektricität sind Berührung, Druck, Reibung, Trennung. Ueber diejenige Elektricität, welche bei bloßer wechselseitiger Berührung der Körper auftritt, ist unter Galvanismus die Rede. — Die Elektricität, welche durch bloßen Druck der Körper an einander erregt wird, (ohne daß Reibung stattfindet), ist vielfach beobachtet worden. Hauy fand die Eigenschaft durch Druck elektrisch zu werden, vorzüglich an kleinen Doppelspathen. Ein bloßer Druck zwischen den Fingern reicht hin, dieselben positiv elektrisch zu machen. Libes bemerkte, daß eine isolirte Metallscheibe neg. elektr. wurde, wenn er sie an gefirnißten Taffet andrückte. Becquerel endlich hat durch eine große Reihe von Versuchen nachgewiesen, daß jeder Körper durch Druck elektrisch werde. Das Verfahren Becquerel's bei seinen Versuchen, und die Resultate derselben theilt Baumgartner mit, wie folgt. Becquerel verfertigte aus dem zu untersuchenden Körper ein Scheibchen, befestigte es mittelst Siegellacks an ein Glasstäbchen, das zur Vermeidung der Elektrisirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe versehen war, überzeugte sich zu erst, daß hieran gar keine freie Elektricität hafte und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben so befestigtes, isolirtes, oder an einen anderen beliebigen Körper. Versuche, die er auf diese Weise mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Kautschouc, Orangeschalen, Stärkmehl, Doppelspath, Gips, Flußspath, Schwerspath, mit mehren Metallen, und selbst mit eingedickten Flüssigkeiten angestellt hat, lehrten, daß wenn beide an einander gedrückte Flüssigkeiten isolirt sind, sie entgegengesetzte Elektricitäten zeigen, ist aber nur einer davon isolirt, so gibt zwar dieser immer Spuren freier Elektricität, aber am anderen sind die der entgegengesetzten nur dann merklich, wenn er ein schlechter Leiter ist. Welcher von beiden pos. oder neg. elektrisch wird, scheint vom Verhältnisse ihrer Elasticität abzuhängen. Die Menge der Elektr. wird durch die Natur der zusammengedrückten Körper, durch die Stärke des Druckes und durch die Leitungsfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der gedrückten Körper bestimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel stärker elektrisch als Kalkspath. Körper, die sich stark abhäriren, geben mehr Elektricität als solche, die dieses nur in einem geringen Grade thun. Bei denselben Körpern und einem mäßigen Drucke ist die entwickelte Elektricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt. Je geringer die Leitungsfähigkeit der zusammengedrückten Körper ist, desto größer wird die Menge der frei gewordenen Elektricität bei übrigens gleichen Umständen. Drückt man einen guten und einen schlechten Leiter an derselben Stelle mehremale hinter einander mit veränderter Stärke zusammen, so findet man bei der Trennung eine Elektricität von solcher Stärke, wie sie dem stärksten Drucke entspricht. Bei guten Leitern vereinigen sich die entgegengesetzten Elektricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört und man kann nur durch eine sehr schnelle Trennung der Körper einen Theil der freigewordenen Elektricität retten. Je geringer aber

Digitized by Google

ihr Leitungsvermögen ist, desto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie Elektricität wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Elektricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältnisse stehen (d. h. je schneller die Trennung vor sich geht, desto größer zeigt sich die Menge der Elektricität.) Dieses bemerkt man besonders, wenn man eine Kork- und eine Orangescheibe zusammendrückt, und sie bald schneller bald langsamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Elektricitätserregung beweiset der Umstand, daß zwei Korkscheiben, die man durch Entzweischneiden eines Stückes erhalten kann, in dem Falle, wo sie durch einen Druck keine elektrische Ladung annehmen, sich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, sobald einer dieser Stücke erwärmt wird. Dasselben zeigen zwei Doppelspathe. Läßt man aber den Druck so lange anhalten, bis beide Körper wieder dieselbe Temperatur angenommen haben, so wird man sie ohne die geringste Spur der Elektr. von einander trennen. Der Feuchtigkeitszustand modificirt die Menge der frei gewordenen Elektr. bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerspath, Gips, Glimmer u. s. w. immer dann nach dem Drucke merklich Elektr. zeigen, wenn sie vorher abgetrocknet wurden. Die Beschaffenheit der Oberfläche hat in soweit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als sie die Leitungsfähigkeit ändert. So wird z. B. der sonst schlechtleitende Doppelspath ein guter Leiter der Elektr., wenn man ihm seine Politur nimmt, und erhält dann nur im isolirten Zustande seine Elektricität.

Ein schnell eingeleiteter und schnell wieder aufgehobener Druck ist ein Stoß, und da die Elektricität desto stärker ist nach Becquerel's Beobachtungen, je schneller der Druck aufgehoben wird, so kann man sich veranlaßt finden, alle Erscheinungen von Funken, welche beim Stoß der Körper an einander bemerkt werden, als Zeichen freier, sich ausgleichender Elektricität anzusehen. So z. B. wenn Quarz, Chalcedon gestoßen, oder die einzelnen Stücken an einandergeschlagen werden; auch sollen Lichterscheinungen bemerkt worden sein, wenn im Eismeere zwei größere Eismassen mit Gewalt durch Sturm und Wellen gegen einander gestoßen wurden. Daß diese Lichterscheinungen aber wirklich elektrische Phänomene sind, ist bisjetzt wenigstens noch nicht hinlänglich nachgewiesen worden.

Ueber die durch Reiben erzeugte Elektricität ist in dem Vorhergehenden die Rede gewesen. Merkwürdig ist die Erfahrung Libes, nach welcher ein Körper verschieden elektrisch werden kann, je nachdem er durch Druck oder Reibung mit demselben anderen Körper zusammengebracht wird. Libes fand nämlich, wie schon oben gesagt wurde, daß das Metall durch Andrückung an Wachstaffet neg., der Taffet dagegen pos. elektr. wurde. Die Wirkung wuchs mit dem Drucke, aber sie hörte völlig auf, als der Taffet die Klebrigkeit verloren hatte, durch welche seine Oberfläche leicht zusammendrückbar ist. Reibt man aber das Metall an dem Wachstaffet, so wird das Metall pos., der Taffet hingegen neg. elektrisch.

Die Elektricität, welche bei der Trennung fester Körper wahrge-

Digitized by Google

nommen wird, ist im Grunde ganz dieselbe, welche durch den Druck erzeugt wird, denn diesem folgt auch eine Trennung, bei welcher die Elektr. erst bemerkbar wird; auch kann man die Kraft, mit der die einzelnen Theile der Körper an einander haften, einem Drucke, durch den sie zusammengehalten werden, vergleichen. Diese Gleichheit der Wirkung der Trennung in elektr. Hinsicht, mögen die Körper nun durch Druck oder durch Cohäsion zusammengehangen haben, zeigt sich deutlich durch den Versuch. Wenn man ein Glimmerblatt spaltet, so zeigt es im Dunkeln ein lebhaftes Licht (wie auch Zucker und Kreide beim Zerstoßen). Um sich zu vergewissern, daß dieses Licht elektrischen Ursprunges sei, mache man an einem Glimmerblättchen die Spaltung nur an einem Ende, befestige dann die Blättchen an isolirende Handgriffe, und reiße mit diesen dieselben von einander, so zeigt sich das eine pos., das andere neg. elektrisch. Wie Glimmer (bemerkt Baumgartner) verhalten sich alle blättrigen und überhaupt alle vollkommen krystallisirten Körper, wenn sie rein gespalten, nicht zerrissen oder gebrochen werden*); doch geschieht dieses nicht beim Spalten nach jedem, sondern nur nach einem bestimmten Blätterdurchgange. So z. B. erscheinen Theilungsstücke eines Topases nur dann elektrisch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe senkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Aehnlich wie das Glimmerblättchen verhält sich auch eine auf dieselbe Art behandelte Spielkarte. Beraubt man die beiden Theile des Glimmerblättchens durch Berührung mit der Hand ihrer Elektricität, und drückt sie dann wieder zusammen, so findet man sie bei abermaligem Auseinandernehmen wieder eben so elektrisch, wie nach der ursprünglichen Trennung. Adams hat bemerkt, daß, wenn man eine Siegellackstange zerbricht, das eine Stück pos., das andere neg. Elektricität zeige. Borsäure zeigt nach Dumas, nachdem sie in einem Platintigel geschmolzen worden ist, dann fest wird und kleine Sprünge bekommt, ein lebhaftes selbst am Tage sichtbares Licht an jedem Sprunge.

Die bei chemischen Wirkungen erregte Elektricität ist wenigstens in den meisten Fällen Berührungselektricität, von welcher, wie schon oben gesagt, im Art. Galvanismus gehandelt wird. Es kommen indeß auch Fälle vor, in denen elektrische Erscheinungen bei chemischer Veränderung auftreten, die sich nicht leicht auf Berührungselektricität zurückführen lassen. So macht Pouillet die Bemerkung, daß Kohlen, Wasserstoffgas ꝛc. beim Verbrennen (Verbindung mit Sauerstoff) neg., das Verbrennungsprodukt aber pos. elektr. wurden. Nach Biot kann man die Pouilletschen Versuche folgendermaßen wiederholen: Man nehme eine Kohle von ziemlich großem Durchmesser, schnitze aus ihr einen Cylinder mit fast ebenen Grundflächen und stelle diesen vertical auf, ungefähr 6 bis 8 Centim. unterhalb einer Messingplatte, die mit einer der Platten eines Condensators in

*) Biot bemerkt: das Frauneis und mehre andre Substanzen geben nur insofern deutliche Resultate, als sie vor der mechanischen Spaltung erwärmt worden sind.

Digitized by Google

metallischer Verbindung steht. Wenn man dann die Kohle mit dem Boden in Verbindung setzt und sie oben anzündet, so erhebt sich eine Säule von Kohlensäure, welche die Messingplatte trifft, und dadurch wird der Condensator in wenig Augenblicken geladen, die Elektr., welche ihm die Kohlensäure mittheilt, ist positiv. Um nun die Elektricität zu erhalten, welche die Kohle selbst bei der Verbrennung annimmt, genügt es, sie mit ihrer unteren Basis geradezu auf die mit dem Condensator verbundene Platte zu setzen, ihre obere Basis anzuzünden und das Feuer durch einen mäßigen Luftstrom zu unterhalten. In wenig Augenblicken ist der Condensator geladen, und zwar erhält er beständig neg. Elektr. von der Kohle. Der Erfolg wird deutlicher, wenn man mehre Kohlencylinder zugleich auf die Platte stellt, und oben anzündet, und fängt man das hierbei sich entwickelnde Gas mit einer Messingplatte, die mit einem zweiten Condensator in Verbindung steht, in der Höhe von einigen Zollen, oder selbst von einem Fuße, auf, so kann man dadurch gleichzeitig die entgegengesetzte pos. Elektr. der Kohlensäure bemerklich machen*). Um darzuthun, daß hierbei der Grund der Elektricitätserregung nicht in der Veränderung des Aggregationszustandes der Kohle liege, sondern in der stattfindenden Verbindung mit Sauerstoff, zeigte Pouillet, daß auch bei der Verbrennung des Wasserstoffgases in Sauerstoffgas Elektricität bemerkbar werde. Bei dieser Verbindung nämlich bildet sich Wasserdampf, also ein expansibelflüssiger Körper aus zwei gleichfalls expansibelflüssigen, so daß keine Aenderung des Aggregationszustandes vor sich geht. Pouillet ließ das Wasserstoffgas aus einem Glasrohre hervorströmen, so daß, nachdem es an der Mündung desselben angezündet worden, es eine verticale Flamme von ungefähr 3 Zoll Länge auf 4 bis 5 Lin. Breite hatte. Die Elektr. wurde nicht mehr durch eine Messingplatte dem Condensator zugeführt, sondern durch einen Platindraht, dessen Ende in eine Schraubenlinie aufgerollt war. Die Schraube war vertical, aber ihre Umläufe bald so weit, daß sie die Flamme unberührt umhüllten, bald so klein, daß sie von dem Innern der Flamme völlig eingeschlossen wurden. Wird nun die Flamme dem äußeren Umlaufe der Schraube bis auf 10 Millimeter genähert, so erhält man Anzeichen von positiver Elektricität, welche

*) Fechner bemerkt hierzu: In allen Fällen, mag man nun mit kleinen oder mit großen Kohlenflächen arbeiten, ist wesentliche Bedingung, um stets sichere und gleichmäßige Zeichen von Elektricität zu erhalten, daß man nur die horizontale Fläche der Kohle anzünde, so daß sich die Kohlensäure in einem Moment erzeugt und erhebt und keinen andern Körper berührt, bevor sie die Messingplatte erreicht, an welche sie ihre Elektricität abgeben soll. Diese Bedingung ist so unumgänglich, daß, wenn man z. B. einen Strom von Sauerstoffgas gegen die Seite eines auf dem Condensator senkrecht stehenden Kohlencylinders richtet, so daß sich unter einer sehr lebhaften Verbrennung bald eine tiefe Grube bildet, es dennoch, ungeachtet dieser raschen Verbrennung, unmöglich ist, merkliche Quantitäten von Elektricität zu sammeln, oder wenn man Spuren erhält, sind sie bald pos. bald neg.

Digitized by Google

zunehmen, so wie man den Abstand verkleinert. Wenn aber die Flamme den Schraubendraht berührte, wurden die Anzeigen schwach und ungewiß. Dasselbe ist der Fall, wenn die Flamme in das Innere der Schraube tritt, parallel der Axe der Schraube. Es gibt also rings um die Wasserstoffgasflamme eine Atmosphäre von 10 Millimeter Dicke, welche beständig positiv elektrisch ist. Wenn man nun aber, um die Berührung der äußern pos. Hülle der Flamme möglichst zu vermeiden, eine Spirale (Schraubenlinie) von kleinem Durchmesser in das Innere der Flamme steckt, so daß sie von allen Seiten wohl eingeschlossen ist, so gibt sich neg. Elektr. zu erkennen. Das Innere der Flamme befindet sich also mit dem Aeußern in einem entgegengesetzt elektr. Zustande; das Aeußere ist immer pos., das Innere immer neg. elektrisch. Es folgt daraus, daß es in der Flamme eine Schicht gibt, in der die Elektricität 0 ist, (wo weder pos. noch neg. Elektr. bemerkt wird, nämlich da, wo beide Elektr. sich binden), und wirklich, wenn man den Schraubendraht bis ungefähr zur Hälfte des glänzenden Theiles der Flamme hineingesteckt hat, verschwinden die elektrischen Wirkungen gänzlich. Das neg. elektr. Innere der Flamme ist offenbar Wasserstoffgas, die pos. elektr. Hülle derselben Wasserdampf. Flammen von Weingeist, Aether, Wachs, Oel, Fetten u. s. w., zeigen dieselben Eigenthümlichkeiten, als die Wasserstoffgas-Flamme*). Namentlich findet auch bei Zersetzungen Elektricitätserregung statt. Pouillet fand, daß reines Wasser, Schwefelsäure, Salpetersäure ꝛc. in einen glühenden Platintiegel getröpfelt, keine Spur von Elektr. erregen, daß aber diese nie unterbleiben, wenn statt dieser Flüssigkeiten solche gewählt werden, die beim Verdunsten eine Zersetzung erleiden, wie z. B. Kalkwasser, Sodalauge. Nach Pouillet schlägt man bei diesen Versuchen folgende Verfahrungsart ein: Man versieht die untere Platte eines condensirenden Elektroskops mit einem Messingstabe, der 8 bis 10 Zoll lang ist, und sich in eine horizontale Platte von 1 bis 2 Zoll Durchmesser und 1 Linie Dicke endigt. Auf diese Scheibe setzt man einen mehr oder weniger heißen Tiegel, der vermöge seiner Natur oder seiner Größe im Stande ist, die Wärme auf kürzere oder längere Zeit zu behalten. In diesen Tiegel bringt man die Substanz, die man verdampfen lassen will. Wenn nun der Dampf wirklich mit einer gewissen Elektr. sich verflüchtigt, so bleibt die Flüssigkeit mit der entgegengesetzten Elektr. zurück, die sich durch den Tiegel und den Metallstab in die untere Condensatorplatte fortpflanzt, und, wenn man während des Verdampfens die obere Condensatorplatte aufsetzt und in leitende Gemeinschaft mit den Erdboden setzt, ansammelt, gebunden wird, und nach Aufheben der oberen Platte ihre Wirkung auf das Elektrometer äußert. Wo starke Wirkung vorhanden ist, kann man auch der obern Platte ganz entbeh-

*) Entgegenstehend sind Versuche von Davy, nach denen selbst durch den lebhaftesten Verbrennungsproceß des Phosphor oder Eisens im Sauerstoffgase, durch Verbindung der Schwefelsäure mit Kali und andere ähnliche Processe keine freie Elektr. zum Vorschein kommen.

ren und das Instrument als reines Elektroskop anwenden. Statt eines erhitzten Tiegels kann man auch eine einfache Platinplatte nehmen, und die auf diese gelegten Substanzen mittelst eines Brennglases durch concentrirtes Sonnenlicht erhitzen. Die Knallsalze zeigen beim Explodiren ähnliche Erscheinungen, wie namentlich Schweigger beobachtet hat. Wenn man einen kleinen Theil kleesaures Silberoxyd in einen glühenden Platinlöffel wirft, (oder concentrirte Sonnenstrahlen darauf wirken läßt,) der mit einem Elektroskope in Verbindung steht; so bemerkt man am Elektroskope neg. Elektricität. Knallsilber, welches durch concentrirtes Sonnenlicht oder durch Schwefelsäure explodirt, zeigt pos. Elektricität. Nach Schweiggers Versuchen mit verpuffenden Salzen, wobei er sich des Bohnenbergerschen Elektrometers bediente, ändert sich die Elektr. theils nach der Beschaffenheit des verpuffenden Salzes, theils nach der Temperatur, in der die Verpuffung geschieht.

Eines der stärksten Erregungsmittel der Elektricität scheint die Wärme zu sein. Nicht allein werden viele Krystalle durch eine Veränderung ihrer Temperatur elektrisch (worüber im Art. Krystallelektricität gehandelt wird); sondern auch die Uebergänge aus einem Aggregationszustande in den anderen, wobei jedesmal Wärme gebunden oder frei wird, sind von Elektricitätserscheinungen begleitet. Beim Uebergange aus dem flüssigen Aggregationszustand in den festen, beim Erstarren noch vorausgegangenem Schmelzen, erscheint z. B. Schwefel, wenn man die Schmelzung in einem irdenen Gefäße vornimmt, und ihn dann auf einem Leiter abkühlt, beim Herausnehmen aus dem Gefäße stark elektrisch. Wenn man denselben in einem gläsernen Gefäße schmilzt und abkühlt, so zeigt er starke neg., das Glas pos. Elektricität. In zinnene oder kupferne Gefäße gegossen, erscheint nach der Abkühlung geschmolzener Schwefel nicht elektr., so wie man ihn aber aus den Gefäßen herausnimmt, hat er pos., das Metall neg. Elektricität, welche Elektricität wieder verschwindet, wenn man ihn in die Gefäße zurück bringt. Aehnliche Beobachtungen sind auch an der Chocolade gemacht worden. Wenn man sie zerlassen in zinnenen Gefäßen abkühlt, so bemerkt man starke Elektricität, welche sie herausgenommen noch eine Zeit lang behält. So wie man sie nachher aufs neue zerläßt und auf Zinn abkühlt, erhält sie ihre elektrischen Eigenschaften aufs neue. Diesen Versuch kann man mehremale wiederholen, bis sie endlich nach dem Abkühlen nicht mehr elektr. erscheint. Sie erhält aber durch etwas Baumöl die Eigenschaft elektrisch zu werden aufs neue. Wenn man die flüssige Chokolade recht heiß in die Blechkapseln bringt, und möglichst schnell erkalten läßt, so kann ihre elektr. Ladung einen so hohen Grad erreichen, daß im Dunkeln die herausgenommenen Tafeln sichtbare weiße knisternde Funken auf einige Entfernung geben. Der elektr. Entladung verdanken vermuthlich die kleinen geschlängelt-netzförmigen Figuren, welche man auf ihrer Oberfläche bemerkt, ihre Entstehung. Bei der Erstarrung geschmolzenen Wachses und Siegellacks treten ebenfalls ähnliche Erscheinungen auf, so wie bei glasiger Phosphorsäure. Pfaff sucht den Grund der hier auftretenden Elektricität nicht unmittelbar in der Wärme oder der Aenderung des

Digitized by Google

Aggregationszustandes, sondern in einer Reibung, die „unter besonders günstigen Umständen in diesen Fällen stattfinden kann.“ Er beruft sich darauf, daß van Marum und Pâts van Troostwyk durch Versuche gefunden haben, daß geschmolzene Massen, wie Gummilack, Harz, Pech, so lange sie ruhig in den Gefäßen stehen, nicht die mindeste Spur von Elektricität zeigen, und daß isolirte Metallplatten, die man in diesem Zustande auf sie hält, unter vorsichtiger Vermeidung aller Reibung, und dann wieder nach dem Erkalten davon trennt, so wenig als die geschmolzenen Massen selbst die mindeste Spur von Elektr. zeigen. Erst das Ausschütten, oder vielmehr das Auseinanderfließen des Geschmolzenen bringt die Elektr. hervor, wobei allerdings Reibung stattfindet. Beim Erstarren der Körper im Gefäße und beim Herausnehmen aus demselben findet auch stets Reibung statt, und Pfaff bemerkt, daß diese hier unter den günstigsten Umständen geschehe, nämlich bei genauer Berührung und höchster Trockenheit. Endlich erscheinen die entgegengesetzten Elektricitäten auch grade so ausgetheilt, wie sie beim direkten Erzeugen der Elektricität durch Reibung an denselben Körpern auftreten. Für einen directen Einfluß der Wärme (in Uebereinstimmung mit ähnlichen Umwandlungen der entgegengesetzten Elektricitäten in einander beim Temperaturwechsel, welche an den elektrischen Krystallen — s. Krystallelektricität — bemerkt werden), spricht aber eine Beobachtung, die Kastner mittheilt, Pfaff aber bezweifelt, nämlich die, daß Schwefel in silbernen Gefäßen geschmolzen, während der Schmelzung und des Geflossenseins negativ, das Silber dagegen stark positiv elektr. sei, beim Erkalten aber die Elektricitäten sich umkehren, so daß der Schwefel positiv, das Silber negativ elektrisch erscheine. — Ueber die Elektricitätserscheinungen, welche beim Gefrieren und Schmelzen des Eises auftreten, hat schon von Grotthuß Beobachtungen angestellt. Wasser, welches bei einer niedrigen Temperatur von — 24° R. in einem Glase, welches wie eine Leidner Flasche von außen belegt war, schnell gefror, zeigte sich positiv elektrisch, in einer hohen Temperatur geschmolzen wurde es negativ elektrisch. Mit einem blechernen Gefäße statt des Glases ergaben sich dieselben Resultate. Hier konnte, wie auch Pfaff bemerkt, die Reibung nicht das erregende Princip sein, denn Eis mit Glas gerieben erhält negative Elektricität. In neuerer Zeit hat Pontus Funken beim Gefrieren des Wassers bemerkt. Derselbe beobachtete nämlich, daß, wenn man Wasser in einem Kölbchen mit 1 bis 2 Centimeter langem Halse, das wie dieser äußerlich mit Baumwolle bekleidet und daselbst mit Aether benetzt ist, unter der Luftpumpe durch schnelles Evacuiren (Verdünnen der Luft, wodurch Verdunstung des Aethers und so Kälte erzeugt wird), zum Gefrieren bringt, allemal einige Augenblicke vor der Gefrierung ein selbst bei hellem Tage deutlich sichtbarer Funke aus dem Halse des Kölbchens springt. Aehnliche Lichterscheinungen sind beim Krystallisiren vieler Salze wahrgenommen worden, so daß man beinahe annehmen kann, daß sie bei keiner Krystallisation ganz fehlen. So hat man sie beim Anschießen des schwefelsauren Kali's, bei dem des schwefelsauren Koboldoxyd's u. a. bemerkt. Dabei erscheint das Licht gewöhnlich

Digitized by Google

in lebhaften Funken, die von verschiedenen Punkten der Krystalle ausgehen. Nach Pfaff dauert die Erscheinung oft mehre Stunden, so wie die Krystallisation fortschreitet, die Flüssigkeit, aus welcher die Krystalle sich bilden, mehr und mehr verdunstet; dieselbe Masse von Krystallen, welche die auffallendste Lichterscheinung geben, zeigten frisch wieder aufgelöst und einer neuen Krystallisation ganz unter denselben Umständen unterworfen, diese Lichterscheinungen zum zweitenmale nicht wieder. Ein merkwürdiger Umstand, der gegen die elektrische Natur dieser Lichterscheinungen zu sprechen scheint, ist von mehren Physikern namentlich bei der Krystallisation des schwefelsauren Kali's, in neurer Zeit auch bei der einer gesättigten Auflösung flußsauren Natron's von Berzelius, einer Auflösung salpetersauren Strontian's von Pfaff bemerkt worden. Es erscheint nämlich als nothwendige Bedingung der Lichtentwicklung, daß die Lauge vorher dem Licht und der Luft ausgesetzt war. Könnte man, wie Pfaff meint, hieraus schließen, daß jenes bei der Krystallisation auftretende Leuchten phosphorisch im engeren Sinne sei, so spricht doch dafür, daß es wirklich elektrisches Licht sei, die Bemerkung, daß krystallisirte Salze auch unmittelbar nach dem Erkalten ihre Elektr. am Elektrometer zeigen. Die glänzendsten Lichterscheinungen treten bei der Krystallisation auf trockenem Wege auf. So bemerkte Buchner, daß bei der Sublimation der Benzoësäure die feinen Krystalle, die sich aus dem Dampfe ausschieden, als die glänzendsten Lichtfunken erschienen. — Endlich hat man auch noch bei der Verwandlung tropfbar flüssiger Körper in ausdehnsam flüssige Elektricitätserregung nachgewiesen. Mit Hilfe des Condensators hat man gefunden, daß durch die bloße Ausdünstung des Wassers Elektricität erzeugt werde. Die Gefäße, aus denen man Wasser verdampfen läßt, erscheinen nach der Verdampfung neg. elektrisch, woraus man schließen kann, daß der in die Luft entwichene Dampf pos. elektrisch sei. Hieraus erklärt sich denn auch die (gewöhnlich pos.) Elektricität der Wolken, das Auftreten heftiger Gewitter nach großer Hitze, wo die Verdünstung von den Wassersammlungen der Erde schnell erfolgt ist, und daher die dabei gebildete Elektricität, ohne sich zu zerstreuen, sich in Menge angesammelt hat. Volta hat beobachtet, daß, wenn man Wasser auf glühende Kohlen in einem isolirten Kohlenbecken gießt, welches mit der Collectorplatte in Verbindung steht, diese dadurch bisweilen so stark elektrisch wird, daß man nach Aufhebung derselben Funken aus ihr ziehen kann*). Bei der Entwicklung verschiedener Gasarten, besonders des Wasserstoffgases aus einem Gemische von Eisenfeile in verdünnter Schwefelsäure, des Salpetergases bei Auflösung der Kupferfeile in Salpetersäure wird ebenfalls neg. Elektricität frei (vergl. oben S. 112. f.)

*) Nach Pouillet's oben näher angegebenen Versuchen würde keine Elektricität bei Verdampfung stattfinden, außer wo diese mit Zersetzung verbunden ist, so daß diese, nicht die Verwandlung des Aggregationszustandes, als Grund der Elektricitätserregung anzusehen wäre.

Digitized by Google

Ueber Elektricität durch Magnetismus erreget, siehe Magneto-Elektricität.

Bei allen organischen Körpern scheint endlich die Lebensthätigkeit eine fortdauernde Erregung von Elektricität zur Folge zu haben. Am stärksten tritt diese Art von Elektricität bei gewissen Arten von Thieren auf, von denen in den betreffenden Artik. die Rede ist. Aber auch bei anderen Thieren bemerkt man Spuren freier Elektricität. Die Haare von Katzen, Pferden, sogar von jungen Personen sind oft ohne äußere Veranlassung so elektrisch, daß sie sich von einander abstoßen, sträuben und in die Höhe stehen. Eine vorzüglich hohe elektrische Erregbarkeit soll das Pelzwerk der Thiere im hohen Norden haben. Die Elektricität, welche besonders nach starker Bewegung der menschliche Körper zeigt, schrieb Sauffure der Reibung des Körpers an den Kleidungsstücken zu. Pfaff hat indeß gefunden (als Resultat einer großen Menge von Versuchen), daß diese Elektricität ganz unabhängig von der Reibung und der diese erzeugenden Bewegung ist, indem auch der entkleidete Körper nach vorhergegangener Ruhe deutliche Spuren von Elektricität durch Hilfe des Condensators zeigte. Bei gesunden Personen erschien diese Elektricität stets als positive, ein Beweis, daß sie nicht eine Folge der Ausdünstung war, da diese, wie oben gesagt, negative Elektricität in dem Körper, aus dem sie geschieht, veranlaßt. Bei Beobachtung dieser Elektricität bedient man sich des Condensators so, daß man die Person, deren elektrischen Zustand man beobachten will, auf einen Isolirschemel stellt, und eine kurze Zeit mit der auf das Elektrometer aufgeschraubten Collectorplatte in Verbindung setzt, während die obere Platte in verbindender Leitung mit dem Erdboden steht. Es ist hier wohl auch der Ort der Beobachtung Murray's zu erwähnen, nach welcher die in der Luft frischgezogenen Spinnefäden, so wie die arbeitende Spinne selbst, negativ elektrisch sind. Daraus erklärt dann Murray das ohnedieß schwer begreifliche Aufsteigen der Spinnefäden in die Luft und ihr Bleiben in verticaler Lage während der Bildung des Spinnegewebes. Wenn man eine Stange durch Reibung neg. elektrisch gemachten Siegellacks einem Spinnefaden nähert, an dem sich eine Spinne von einem Gegenstande herabläßt, so wird er von der Siegellackstange deutlich abgestoßen, von einer geriebenen pos. elektr. Glasröhre dagegen angezogen. Hält man die geriebene Siegellackstange über die Spinne, so steigt sie augenblicklich herab, und wenn man sie auf stark geriebenes Siegellack fallen läßt, so springt sie mit bedeutender Kraft in die Höhe. Metallene Leiter in die Nähe der hängenden Spinne gebracht, ziehen dieselbe aus ihrer perpendiculären Lage ab. Auch der Lebensprozeß der Pflanzen scheint von elektrischen Erscheinungen begleitet zu sein, indem man bemerkt hat, daß dieselben im Zustande des intensivesten Lebens Lichtfunken ausstrahlen. Zawadzki, der über dieses elektrische Leuchten der Blumen Beobachtungen anstellte, fand, daß besonders die rothgelben Blumen (namentlich die Ringelblume — Calendula officinalis —, die Capuciner- oder indianische Kresse — Tropaeolum majus und minus —, die Feuerlilie — Lilium bulbiferum und die Sammetrose — tagetes patula und

Digitized by Google

erecta —) ſtarke Lichtblitze von ſich geben. Man bemerkte dieſe Blitze der Blumen im Juli und Auguſt während der Befruchtung der Blumen kurz nach Sonnenuntergang, aber nur an warmen heiteren Tagen. Ein und dieſelbe Blume blitzt oft mehremale hinter einander, oft aber vergehen mehre Minuten bis ein neuer Blitz ſich zeigt.

Die Wirkungen der Elektricität ſind theils mechaniſcher Art, theils chemiſcher, wozu noch die auf den Lebensproceß organiſcher Körper kommen*).

Die ungeheure Kraft der atmoſphäriſchen Elektricität, welche ſich im Blitze äußert, iſt bekannt, und wird im Art. Blitz von ihr geſprochen. Doch auch durch diejenigen Mittel, mit denen der Menſch Elektricität künſtlich zu erzeugen und zu ſammeln vermag, laſſen ſich ſchon bedeutende mechaniſche Wirkungen ausüben, namentlich mittelſt der Elektriſirmaſchine, wenn man ſich elektriſcher Batterien zu Anhäufung größerer Quantitäten Elektricität bedient. Durch den Schlag ſolcher Batterien (den elektriſchen Funken, ſ. d. Art.) kann man Drähte von 2 bis 3 Linien Durchmeſſer glühend machen; dünnere Drähte von $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmeſſer mehrere Zoll weit ſo gänzlich zerſtören, daß ſie in glühende Kugeln verwandelt weit umher zerſtreut werden; noch dünnere Drähte auf eine größere Strecke ſchmelzen, zum Theil in Rauch verwandeln; Holz und Papiermaſſen durchbohren, Thiere tödten u. ſ. w. Ueber die mechaniſchen und chemiſchen (Zerſetzung, Entzündung u. ſ. w.) Wirkungen der Elektricität iſt übrigens in den verſchieden betreffenden Artikeln die Rede. Hier will ich nur noch Einiges über die Wirkung der Reibungs-Elektricität namentlich auf den menſchlichen Organismus beifügen, ſo wie über die Anwendung der Elektricität, die man demgemäß in der Heilkunde gemacht hat.

Wenn man Menſchen ſtark elektriſch machen will, ſo muß man ſie, wie jeden anderen Leiter der Elektricität iſoliren. Man ſtellt ſie deßwegen auf ein Iſolatorium und bringt ſie dann in leitende Verbindung mit einem elektriſchen Körper, gewöhnlich mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine, während das Reibzeug der Maſchine, zu Ableitung der negativen Elektricität mit dem Erdboden in leitende Verbindung geſetzt wird. Tritt dann die Maſchine in Thätigkeit, ſo wird der Menſch wie jeder andere iſolirte Leiter der Elektricität elektriſch, man kann Funken aus demſelben ziehen, wie aus dem Conductor einer Elektriſirmaſchine. Man glaubte ſonſt, dieſe Mittheilung der Elektricität an den Menſchen beſchleunige den Puls, befördere die Ausdünſtung und Drüſenabſonderung, jedoch haben eine große Menge von Verſuchen dieſe Annahme wenigſtens als eine allgemein gültige ſehr zweifelhaft gemacht. Dennoch hat man in der Medicin Anwendung von der bloßen Anhäufung der Elektricität im menſchlichen Körper gemacht, welche man das elektriſche Bad nennt. Das Iſolatorium, auf welches der Kranke geſtellt, geſetzt oder gelegt wird, beſteht weſentlich in einem

*) Ueber die Verwandtſchaft der Elektricität mit dem Magnetismus ſ. d. Art. Elektromagnetismus und Magnetoelektricität.

Digitized by Google

wohlausgetrockneten lackirten an den Ecken wohl abgerundeten Brete, das auf ſtarken, wenigſtens ½ Fuß hohen, maſſiven, gläſernen, überfirnißten Säulen ruht. Böckmann hat ein elektr. Bette vorgeſchlagen, deſſen Geſtell von trocknem überfirnißten, oder in einem Backofen gedörrtem und mit Oele getränktem Holze gearbeitet iſt, und auf 6 bis 8 mit Siegellack überzognen maſſiven Glasflüſſen ſteht; und in dem aus Haaren gefertigte und damit gefüllte Matratzen und Kiſſen nebſt einer leichten Decke liegen. Eine metallene Kette, der Zuleiter, welche möglichſt wenig Spitzen und Ecken haben muß (eine ſeidene mit dünnem Meſſingdrahte durchflochtene Schnur), damit die Elektricität nicht aus dieſen ausſtröme, ſetzt den Kranken mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine in Verbindung.

Iſolirt man den menſchlichen Körper, welcher mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine in Verbindung ſteht, nicht, ſo wird er zu einem Theile der Ableitung der Elektricität nach dem Erdboden. In dieſem Falle hat der Körper keine Empfindung von der ihn gleichſam durchſtrömenden Elektricität. Man kann auch einen Theil des menſchlichen Körpers, auf den man wirken will, zwiſchen zwei Leiter der Elektricität einſchließen, von denen der eine mit dem poſ. elektr. Conductor der Elektriſirmaſchine, der andre mit dem neg. elektriſchen Reibzeuge derſelben in Verbindung ſteht; dann geht gleichſam ein doppelter elektriſcher Strom durch dieſen Theil des Körpers. Man unterſcheidet daher doppelte elektriſche Strömung und einfache, indem bei der letzteren der auf der einen Seite mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine verbundene Theil des Körpers auf der anderen Seite mit dem Erdboden in Verbindung geſetzt iſt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Elektricität, ſo unmerklich ſie in dieſem Falle auch auftritt, dennoch von Wirkſamkeit iſt. Namentlich zeigt ſich die elektriſche Strömung wirkſam bei träger oder ſtockender monatlicher Reinigung, wenn die poſ. Elektricität durch einen Zuleiter in die Gegend der Lendenwirbel geführt, der neg. Zuleiter in den Schooß der Kranken gelegt wird.

Es iſt oben geſagt worden, daß Spitzen die Elektricität ausſtrömen laſſen, man hört dabei ein ziſchendes Geräuſch und wenn man einen Theil des Körpers der Spitze nähert, ſo empfindet man einen ſanften Wind oder Hauch. In empfindlichen Theilen erregt längeres Einwirken dieſes elektriſchen Ausſtrömens das Gefühl einer leichten Wärme, und im Auge vermehrt es die Abſonderung der Thränen. Zur mediciniſchen Anwendung bedient man ſich eigener Leitungsſtäbe oder Directoren. Dieß ſind metallene umgebogene oder gerade Stäbe in iſolirenden (gläſernen) Handgriffen, welche einen Haken haben, in den der Zuleitungsdraht vom Conductor eingehängt werden kann, und auf deren Ende Spitzen von Metall oder Holz und von verſchiedner Abſtumpfung aufgeſchraubt werden können. Etwas ſtumpfe Spitzen ſind wirkſamer als ſcharfe, und am wirkſamſten zeigen ſich Spitzen von nicht zu trockenem Holze. Mittelſt ſolch eines Leitungsſtabes läßt man die Elektricität gegen den leitenden Theil ſtrömen, auf den man wirken will. Man kann ſich auch Directoren mit zwei und mehreren Spitzen bedienen. Zuweilen befeuchtet man die hölzerne Spitze

Digitized by Google

mit flüchtigen Stoffen, z. B. Kampherspiritus, oder bringt vor die metallenen Spitzen ein kleines mit einer solchen Flüssigkeit genetztes Schwämmchen, um die von der ausströmenden Elektricität mit fortgerißnen feinen Theilchen der Flüssigkeit zugleich mit an den leidenden Theil zu bringen. Um auf das Auge, den innern Mund oder das Innere des Gehörganges zu wirken, bedient man sich der Directoren, die aus einer Glasröhre bestehen, in welcher ein Messingdraht befestigt ist, dessen eines stumpfes oder spitzes Ende innerhalb der Röhre, 1 bis 2 Linien von der Mündung entfernt, sich befindet, und dessen anderes Ende in einen Haken umgebogen oder mit einem Knopfe versehen ist, um mit der Zuleitung in Verbindung gebracht werden zu können. Die Spitzen können nicht bloß zum Einströmen der Elektricität, sondern eben so auch zum Ausziehen, Auffaugen derselben benutzt werden. Dann setzt man den isolirenden Kranken wie beim elektrischen Bade mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung und nähert dem leidenden Theile desselben die nicht isolirte Spitze.

Daß man aus jedem stark elektrischen Körper, also auch aus dem geladenen Conductor einer Elektrisirmaschine Funken ziehen kann, ist schon oben gesagt worden. Beim Ueberspringen des Funkens erhält der Körper, namentlich der Theil, welcher zunächst in Verbindung mit der Elektrisirmaschine kommt, eine unangenehme Erschütterung, mit einem stechenden Gefühle an der Stelle, an welcher der Funke überspringt. Man kann den Funken dem Kranken entweder mittheilen, oder ihn aus demselben ausziehen. Im ersten Falle nähert man dem kranken Theile einen oben mit einer Kugel versehenen und mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzten Leitungsstab (der eine isolirende Handhabe hat); im anderen Falle muß der Kranke isolirt und mit dem Conductor in leitende Verbindung gesetzt werden, der Leitungsstab dagegen muß mit dem Fußboden in Verbindung stehen. Die Funken üben einen Reiz auf die Haut aus, der sich durch die erwähnte stechende Empfindung bemerklich macht, starke Funken können sogar kleine Brandblasen und Blutunterlaufungen zur Folge haben. Der Theil des Körpers, auf welchen man den Funken wirken lassen will, muß in der Regel entblößt sein, weil Kleidungsstücke leitend wirken können. Bedeckt man aber den leidenden Theil des Körpers mit Flanell oder Baumwolle, und fährt mit der Kugel des Leitungsstabes darüber her und hin, so erhält der leidende Theil eine Menge kleiner Funken, welche die Haut reizen. Dieses Verfahren soll namentlich bei Rheumatismen wirksam sich bewiesen haben. Lebhafter als gewöhnlich werden die Funken empfunden, wenn man die Haut vorher mit Oel einreibt. Die Funken sind im Allgemeinen desto größer, je größer die Kugeln sind, deren man sich bei der Operation bedient. Bei sehr empfindlichen Theilen des Körpers (Augen, Ohren u. s. w.) bedient man sich daher sehr kleiner Kugeln oder auch nur abgerundeter Drähte. Um aus dem Inneren des Gehörganges Funken zu ziehen, bringt man die oben angegebene Glasröhre mit einem Messingdrahte in das Ohr, und zieht den Funken aus dem umgebogenen Ende des Drahtes.

Der elektrische Funke wird desto heftiger, je größer die Quantität

Digitized by Google

der in ihm sich ausgleichenden (oder entladenden) Elektricität ist, und desto heftiger wird auch die Erschütterung, welche der Mensch, der ihn auszieht, erhält, namentlich wenn er selbst einen Theil der Leitung der entgegengesetzten Elektr. ausmacht; man nennt ihn dann den elektrischen Schlag. Bei der medicinischen Anwendung des elektr. Schlages kommt es darauf an, daß derselbe eine bestimmte, nicht zu große und nicht zu geringe Intensität habe. Daher bedient man sich am passendsten des Lane'schen Ausladers (s. d. Art. Auslader B. I. S. 132.), indem man dem verschiebbaren Drahte nach seiner Gradeintheilung diejenige Stellung gibt, bei welcher der Entladungsschlag des Lane'schen Ausladers die nöthige Stärke hat. Bd. I. Taf. II. Fig. 33. stellt einen Lane'schen Auslader vor; um mit Hilfe desselben die elektr. Erschütterung durch einen krankhaften Theil der Körpers gehen zu lassen, stellt man den Auslader so vor den Conductor der Elektrisirmaschine, daß die Kugel e denselben berührt, bringt dann den Draht gh mit dem einen Ende des krankhaften Theiles und den Draht kl mit dem anderen in Verbindung; der Funke springt zwischen e und f über, sobald die Elektricität die gewünschte Spannung erhalten hat, und theilt dem zwischen beiden leitenden Drähten befindlichen Theile des Körpers die Erschütterung mit. Man beginnt gewöhnlich mit schwachen Erschütterungen, indem e und f nur etwa einen halben Zoll und weniger von einander entfernt sind, und geht, indem man diese Entfernung vergrößert, zu heftigeren Schlägen über. Im Fall daß man keinen Lane'schen Auslader haben kann, muß man die Stärke des Schlages nach der Anzahl der Umdrehungen der Scheibe oder des Cylinders der Elektrisirmaschine berechnen, doch ist man hier stets im Unsichern. Um den Reiz auf die Haut zu vermeiden an den Stellen, wo die Leitungen die Haut berühren, kann man an diese Stellen flachanliegende Bleiplatten befestigen, welche ein Oehr zu Befestigung des Leitungsdrahtes haben müssen. Die Nerven sind der Theil des thierischen Organismus, welcher am besten die Elektricität leitet, man läßt daher namentlich durch sie die elektrischen Erschütterungen und Strömungen gehen. Beim Funkenziehen beginnt man bei der Stelle des kranken Gliedes, welche dem Centrum des Nervensystemes am nächsten liegt, und verfolgt nach und nach mit dem Leitungsstabe den Verlauf des Nerven.

Die Elektricität wirkt im Allgemeinen als nervenreizendes Mittel, und durch die Nerven auf die Muskeln, in denen sie Zuckungen hervorbringt und auf das Gefäßsystem, dessen Thätigkeit sie erhöht. Sie wird daher in allen denen Fällen (wenn auch nur versuchsweise) anwendbar sein, in welchen eine Erhöhung der Lebensthätigkeit in krankhaften Theilen des Körpers bezweckt wird, nicht anzuwenden dagegen ist sie in allen mit erhöhter Erregung verbundenen Krankheiten. In Rust's Handbuche der Chirurgie werden folgende Krankheiten angegeben, in denen man sich mit Erfolg der Elektricität als Heilmittels bedient hat: Lähmungen der Bewegungsorgane (besonders solche, die von Metallvergiftungen, Schlagflüssen, Gicht und Rheumatismen zurück bleiben); Lähmungen der Sinnesorgane; Lähmungen anderer innerer Organe; Contracturen und falsche Anchylosen (besonders durch Krampf, gichtische

Digitized by Google

und rheumatische Ursachen bedingt); Krämpfe und Convulsionen (Veitstanz, Epilepsie, Tetanus, Trismus und Katalepsie); Asphyxie; schmerzhafte Affectionen; unterdrückte Secretionen und Excretionen; Geschwülste; manche Arten chronischer Entzündungen (Augenentzündungen, wo sich aber nur der elektrische Hauch erfolgreich gezeigt). Der Bandwurm soll durch elektrische Erschütterungen durch den Unterleib geführt betäubt werden, so daß augenblicklich die von ihm herrührenden Schmerzen und Beschwerden verschwinden, und derselbe durch Purgirmittel abgeführt werden kann. Auch zu Wiederweckung Scheintodter, namentlich Ertrunkener und vom Blitze Getroffener hat man mit Erfolg die Elektricität angewendet, indem man gelinde elektr. Schläge durch die Gegend des Herzens und des Zwerchfelles leitet. Als allgemeine Regel bei Anwendung der Elektricität gilt, daß man stets bei den gelindesten Einwirkungen derselben anfängt, und erst von diesen zu stärkeren fortgeht. — (Vergl. d. Art. Galvanismus).

Blicken wir zurück auf die mannigfaltigen elektrischen Erscheinungen, um wo möglich einen Schluß daraus zu machen auf das eigentliche Wesen der Elektricität, so müssen wir uns gestehen, daß dieses keineswegs aus denselben so klar hervorleuchte, daß alles Räthselhafte verschwinde. Es scheint sogleich unmöglich zu entscheiden, ob die Elektricität eine, wenn auch unendlich feine, Materie sei, oder ob sie passender als eine vorübergehende Eigenschaft der Körper bezeichnet werde. Man hat diese Frage durch ein Experiment zu entscheiden gesucht, indem man nämlich zusah, ob auch im luftleeren Raume die elektrischen Erscheinungen auftreten. Wäre die Elektricität etwa nur ein besonderes Erbeben der kleinsten Theile eines Körpers, oder sonst etwas derartiges, welches durch die Umgebungen eines Körpers fortgepflanzt werde, und wodurch dann auch ähnliche Erregungen in einem anderen Körper, der dem ersten nahe gebracht würde, hervorgerufen werden könnten, so mußten offenbar diese Einwirkungen der Körper aus einiger Entfernung auf einander im luftleeren Raume nicht stattfinden, da hier ein die Erregung des elektrischen Körpers fortpflanzendes Medium fehlt. Wir können aber keinen absolut leeren Raum herstellen, denn auch die Torricellische Leere ist am Ende ein von schwachen Quecksilberdämpfen erfüllter Raum, und je dünner die den elektrischen Körper umgebende Luftart ist, desto leichter beweglich wird sie, und desto geeigneter wird sie am Ende sein, durch die Erregungen im elektrischen Körper afficirt zu werden. Ich werde nicht die Menge kluger und unkluger Hypothesen aufzählen, welche über das Wesen der Elektricität aufgestellt worden sind, und welche immer, wenn sie einseitig festgehalten werden, dem Blicke des Beobachters seine Unbefangenheit rauben. Man kann indeß ganz wohl von einer elektrischen Materie reden, wenn man sich durch diese Ausdrucksweise nicht bestimmen läßt, die Elektricität selbst als etwas durchaus materielles zu betrachten, und alle Erscheinungen auf materielle Eigenschaften zurückzuführen. Eine elektrische Erscheinung erklären, kann nichts anderes bedeuten, als dieselbe mit anderen bekannten Erscheinungen so zu verknüpfen, daß sie nicht als eine vereinzelte erscheint. Hinsichtlich der Ausdrucksweise, deren man

Digitized by Google

sich bei dieser Beziehung der elektrischen Erscheinungen auf einander bedient, ist es aber nöthig auf zwei Ansichten oder Theorien über die Elektricität aufmerksam zu machen, die sich mehr auf die Kunstsprache der Physiker als auf das eigentliche Wesen der Elektricität beziehen. Einige Physiker sprechen nämlich nach Franklin's Beispiele durchweg nur von Einer Elektricität, andere nach Symmers Vorgange von zwei Elektricitäten.

Die Franklin'sche Theorie spricht Pfaff kurz in folgenden Sätzen aus:

1. Durch die ganze Körperwelt ist eine einzige feine Materie verbreitet, welche den Grund aller elektrischen Erscheinungen enthält.

2. Die Theile dieser Materie stoßen sich ab, werden aber von den Theilen der Körper angezogen.

3. Jeder Theil eines Körpers kann eine gewisse Menge dieser Materie in sich nehmen, ohne daß sie sich an seiner Oberfläche anhäufen darf; hat er grade diese Menge, so ist er nicht elektrisirt; oder in seinem natürlichen Zustande.

4. Hat er mehr, als diese ihm natürliche Menge, so ist er positiv, hat er weniger, so ist er negativ elektrisirt.

5. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch einen Uebergang, in welchem sich der relative Ueberfluß mit dem relativen Mangel ausgleicht, oder durch proportionirte Vertheilung dieser Materie.

Diese Sätze enthalten den allgemeinsten Ausdruck der elektrischen Erscheinungen, welche im vorhergehenden angeführt worden, in der Art, daß nur von Einer Materie. Elektricität gesprochen wird. Der elektrische Funke ist nach dieser Theorie Uebergang der in einem Körper angehäuften Elektricität in einen anderen, welcher weniger Elektricität als im natürlichen (gewöhnlichen) Zustande hat.

Da man aber fand, daß sich die negative (Harz-) Elektricität im Grunde nur durch ihren Gegensatz von der positiven unterscheide, so wie durch einige unterschiedene Eigenschaften, welche sich schwer aus einem Mangel an Elektricität im negativ elektrischen Körper erklären lassen, daß endlich der elektrische Funke vielmehr auf eine Vereinigung zweier elektrischen Materien hindeute, als auf einen Uebergang Einer Elektricität von einem Ueberfluß habenden zu einem Mangel leidenden Körper *); so sprach zuerst Symmer von zwei verschiedenen elektrischen Materien, deren Bezeichnung mit positive und negative Elektricität nur durch ihr Verhalten gegen einander, wie es oben S. 93. ff. auseinander gesetzt worden, gerechtfertigt wird. Den Sätzen der Franklinschen Theorie entsprechend, läßt sich diese dualistische Theorie in folgenden Sätzen wiedergeben:

1) Es gibt zwei durch die ganze Körperwelt verbreitete Materien, welche den Grund aller elektrischen Erscheinungen enthalten.

*) Vergl. d. Art. Funke, elektrischer.

Digitized by Google

2) Diese elektrischen Materien ziehen einander beide gleich stark an, während die Theilchen einer jeden unter einander gleich stark sich abstoßen.

3) Der natürliche Zustand eines Körpers ist der, in welchem er gleichviel von jeder dieser beiden elektrischen Materien besitzt, die sich dann gegenseitig so binden, oder eine die andere festhält, daß keine Aeußerung ihres Vorhandenseins bemerkt wird, der Körper also als nicht elektrischer erscheint. Durch Reibung zweier Körper an einander, Druck u. s. w. wird aber diese innige Vereinigung beider Elektricitäten so aufgehoben, daß beide frei (also bemerkbar) auftreten, und zwar tritt die eine Elektricität in dem einen, die andere in dem anderen der zwei geriebenen Körper auf.

4) Ein Körper, dem die negative Elektricität entzogen ist, ist positiv elektrisch; ein Körper, dem die positive Elektricität entzogen ist, negativ elektrisch, wenn vorher der Körper im natürlichen Zustande war.

5) Alle elektrischen Erscheinungen haben ihren Grund in dem Streben der entgegengesetzten Elektricitäten sich in gleicher Quantität mit einander zu vereinigen, und in dem Umstande, daß die Theilchen derselben Elektricität sich gegenseitig abstoßen.

In dem Vorhergehenden sind die einzelnen verschiedenen elektrischen Erscheinungen auf die dualistische Theorie schon zurückgeführt worden, insofern als von positiver und negativer Elektricität, ihrer Trennung und Vereinigung bei den einzelnen Erscheinungen die Rede war.

Wenden wir nun am Schluß dieses Artikels, — der übrigens der Natur der Sache nach mit allen denen Artikeln in innigster Verbindung steht, die sich auf besondere Arten der Elektricität nach ihrer verschiedenen Erregungsweise, einzelne Erscheinungen derselben, elektrische Apparate u. s. w. beziehen, — noch einen Blick auf die Geschichte, auf die Zeitfolge, in welcher die wichtigsten auf Elektricität sich beziehenden Entdeckungen gemacht worden.

Schon die Alten haben, worauf selbst der Name Elektricität hindeutet, einige Kenntniß von elektrischen Erscheinungen gehabt, doch beschränkte sich dieselbe, wenigstens bei den Griechen und Römern, auf die von der eigenthümlichen Anziehung kleiner Körper durch den Bernstein und einige wenige andere Körper. Erst im J. 1600 fügte zu den bekannten W. Gilbert noch andere Körper hinzu, welche wie der Bernstein sich verhalten, namentlich das Glas, die meisten Edelsteine, der Schwefel und das Siegellack. Gilbert machte keinen Unterschied zwischen elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Die nächsten ausgedehnteren Versuche waren die oben S. 84. angeführten von Otto von Guericke. Nur in geringem Grade zog die Elektricität die Aufmerksamkeit Newtons auf sich. Das elektrische Leuchten, zunächst des Bernsteins, und den elektrischen Funken, der sich zeigt, wenn man einem stark elektrischen Stücke Bernstein den Finger nähert, wurde zuerst von Wall beobachtet, der ihn auch schon mit dem Blitze und das dabei wahrgenommene Knistern mit dem Donner verglich. Das Geräusch der elektr. Ausströmung wurde so wie zuerst

Digitized by Google

das Gefühl wie von Spinneweben, welches die Annäherung eines elektrischen Körpers verursacht, von Hawksbee bemerkt. Derselbe machte auch auf den Vorzug des Glases hinsichtlich elektrischer Kraft vor anderen Körpern aufmerksam, und beobachtete die Erscheinungen der Elektricität im luftleeren Raume. Im J. 1709 machte Hawksbee seine Beobachtungen bekannt. Die nächsten auf Gestaltung der Elektricitätslehre einflußreichen Beobachtungen machte Gray 1728 — 31; dieselben sind schon in Bezug auf Leiter und Nichtleiter der Elektr. oben S. 87. zum Theil mitgetheilt worden. Er bemerkte auch, daß die Elektricität aus Spitzen in im Dunkeln feurig erscheinenden Büscheln freiwillig ausströme. Du Fay dehnte Gray's Versuche noch weiter aus, und gab nähere Bestimmungen über die Mittheilung der Elektricität; auch zog er aus dem menschlichen Körper Funken. Desagulier drückte in einer 1742 gekrönten Preisschrift die bisherigen Beobachtungen in Form allgemeiner Gesetze der Elektricität aus.

Nun begannen auch die deutschen Physiker sich mit der Elektricität genauer zu beschäftigen: Haasen in Leipzig, Bose in Wittenberg, Winkler in Leipzig, Gordon in Erfurt, Ludolf in Berlin, Gralath in Danzig u. A. Durch Watson wurden die elektrischen Erscheinungen auch in England bekannt.

Im J. 1745 entdeckte Kleist die Leidner Flasche und deren Erstaunen erregende Wirkungen, wodurch besonders die Aufmerksamkeit der Physiker auf die Elektricität geleitet wurde. Nollet beobachtete den Einfluß der elektrischen Wirkungskreise, aber nicht, daß die durch Vertheilung hervorgerufene Elektr. die entgegengesetzte der dieselbe hervorrufenden sei, indem er überhaupt keine Rücksicht auf den Gegensatz von positiver und negativer Elektr. nahm.

Von dem wichtigsten Einfluß auf Elektricitätslehre waren aber die geistreichen Forschungen Franklins in Philadelphia (in den Jahren 1747 u. d. folg.), der zugleich der Urheber der oben angeführten nach ihm benannten Theorie war, in welcher die wichtigsten elektrischen Erscheinungen in Form allgemeiner Gesetze der Elektricität ausgesprochen sind. Franklin war es auch, welcher zuerst auf das Bestimmteste die Identität des elektrischen Funkens mit dem Blitze, insofern beide gleichartige elektrische Erscheinungen sind, nachwies. (Vergl. d. Art. Blitz und Blitzableiter, Drache, elektrischer). Besonders wichtig in Bezug auf die Erkenntniß des elektrischen Gegensatzes war Cantons Bemerkung vom J. 1753, daß es nur von der Glätte der Oberfläche und vom Reibzeug abhänge, das Glas und andere elektr. Körper entweder positiv oder neg. zu elektrisiren. Derselbe entdeckte auch genauer den Einfluß der elektrischen Atmosphäre oder Wirkungskreise, deren Gesetz zuerst von Wilke 1757 ausgesprochen wurde. Versuche über die Elektricität geriebener seidener Bänder und Strümpfe waren die Veranlassung, daß Symmer und nach ihm endlich die meisten Physiker von zwei Elektricitäten redeten. Daher man diese Physiker, zum Unterschiede von den Anhängern Franklins (Unitarier genannt, weil sie nur Eine elektrische Materie an-

Digitized by Google

nahmen — v. d. lat. unus Einer) Dualisten (v. d. lat. duo zwei) nannte.

Volta's Erfindungen des Elektrophor (1775) und des Condensator (1783), so wie Coulombs Erfindung der Drehwage und ihre Anwendung zu Beobachtungen über Elektricität, gaben der Elektricitätslehre neue Erweiterungen und machten mathematische Bestimmungen in ihr möglich, die wir besonders Biot und Poisson verdanken. Die chemischen Wirkungen der Elektricität zeigte zuerst van Marum mit Hilfe der großen Taylerschen Elektrisirmaschine; aber erst die Entdeckung des Galvanismus führte in dieser Hinsicht zu umfassenderen und sorgfältigeren Beobachtungen. Die von Volta erfundene Säule (s. Galvanismus), die Entdeckung der Krystallelektricität (s. d. Art.), des Elektromagnetismus (s. d. Art.) und endlich Faradays neueste Entdeckungen haben Aussichten in der Elektricitätslehre eröffnet, die zu verfolgen das Streben der jetzt lebenden Physiker ist, und welche den tiefsten Blick in das Innere der Natur hoffen lassen.

Elektrisirmaschine ist ein Apparat zu Erregung größerer Quantitäten Elektricität und deren Mittheilung an andere Körper, welche wesentlich aus einem Isolator (idioelektrischen Körper), der an einem anderen Körper, dem Reibzeuge gerieben wird, und aus passend angebrachten isolirten Leitern, Conductoren, zu Ansammlung der am Isolator und am Reibzeuge erzeugten Elektricität besteht.

Die ersten Elektrisirmaschinen, deren sich deutsche Gelehrte, Hausen, Gordon u. A. bedienten, waren die einfachsten Vorrichtungen, um das Reiben eines idioelektrischen Körpers bequemer und stärker als mit den bloßen Händen möglich war, zu verrichten. Schon Guericke und Hawksbee hatten, der erste um eine Schwefelkugel, der andere um eine Glaskugel in schnelle Bewegung zu setzen, sich jener einer Kurbel, dieser eines Rades bedient, welche mit einer durch die Kugel gehenden Axe in Verbindung standen. Statt eines Reibzeuges hat man sich anfangs ausschließlich der Hände, welche man gegen die gedrehten Kugeln oder Cylinder hielt, bedient, weil sich diese gleichmäßiger an die Fläche des Körpers andrücken ließen, bis Sigaud de la Fond die Kissen seiner Maschine, welche als Reibzeuge dienten, mit Federn versahe. In neueren Zeiten bedient man sich nun durchgängig solcher Kissen als Reibzeuge, die Kugelform des zu reibenden Körpers ist als unpraktisch abgekommen und man wendet gewöhnlich gläserne Cylinder, oder (welche Form noch geeigneter ist) runde Glasscheiben an. Hiernach unterscheidet man Cylindermaschinen und Scheibenmaschinen.

Fig. 13. stellt eine Cylindermaschine vor. Der gläserne Cylinder CD hat an beiden Enden Hälse, welche in messingene Hauben gekittet sind. Diese Hauben laufen in stählerne Zapfen aus, welche in der mathematischen Axe des Cylinders liegen müssen, und mittelst deren der Cylinder in Lagern ruht, die in den beiden hölzernen Säulen M und O eingerichtet sind. Diese Säulen sind in das Bret L be-

Digitized by Google

festigt, welches durch Schrauben wie N befestigt werden kann. Ueber die Säule O ragt der eine Zapfen, um den der Cylinder drehbar ist, heraus, und trägt hier einen Würtel; um diesen, so wie um das größere Rad K geht in Einschnitten eine Schnur ohne Ende. Man begreift, daß wenn das Rad K mittelst seiner Handhabe in drehende Bewegung gesetzt wird, diese sich dem Würtel und durch diesen dem Cylinder mittheilt. F G ist das Reibzeug, ein ledernes, mit Amalgam bestrichenes, mit Roßhaaren gepolstertes Kissen, welches durch Federn an den Cylinder angedrückt wird, und $\frac{1}{8}$ bis höchstens $\frac{1}{4}$ seines Umfanges umspannt und bis zu 1 bis 2 Zoll vor der Kante des Cylinders auf beiden Seiten reicht. Die Federn, welche das Kissen andrücken, sind hinten an dasselbe angeschraubt (es ruht auf einem nach der Form des Cylinders gearbeiteten Holze), und gehen aus der hölzernen Haube einer starken gläsernen Säule hervor, welche auf dem Brete L steht. P ist ein Lappen von Wachstaffet, welcher an das Reibzeug befestigt ist und den oberen Theil des Cylinders bedeckt. A L ist der gewöhnlich aus Messingblech verfertigte Conductor, der auf Glasfüßen steht und bei N mit Spitzen versehen ist, welche nahe an den Cylinder reichen und die Elektricität desselben auffangen. Verbindet man das Reibzeug durch einen Leiter, gewöhnlich eine Kette, mit dem Fußboden und setzt dann die Maschine durch Umdrehung des Rades K in Bewegung, so erhält der Conductor A B positive Elektricität; hat man dagegen diesen Conductor A B mit dem Fußboden in leitende Verbindung gesetzt, so häuft sich negative Elektricität im Reibzeuge F G, und man kann auch bei diesem einen Conductor für negative Elektricität anbringen, der ganz die Einrichtung des positiven Leiters A B hat.

Bei der Verfertigung der Glas-Cylindermaschinen kommt es zuerst auf die Wahl eines geeigneten Cylinders an. Derselbe muß aus einem stark elektrischen Glase bestehen, als welches sich helldurchsichtiges, hartes, weißes, reines Glas, am besten Flintglas empfiehlt. Man prüft das elektrische Vermögen eines Cylinders bei der Wahl durch Reiben mit einem mit Amalgam eingeriebenem Stücke Taffet, indem ein guter Cylinder so mit der Hand gerieben schon leichte Körper aus einiger Entfernung anziehen muß. Der Cylinder muß von möglichst vollkommen gleichmäßiger Oberfläche sein, keine Einbiegungen oder an der Oberfläche liegende Blasen haben, denn die ersteren verhindern das genaue Anschließen an das Reibzeug, die letzten scheuern sich bei längerem Gebrauche auf, es entstehen Vertiefungen, welche bei der Reibung am Reibzeuge Amalgam aufnehmen, wodurch die Entladung des Conductors nach dem Reibzeuge begünstigt wird, auch zerreiben sie den Taffet. An seinen Enden hat der (hohle) Glascylinder Halsstücke, nach welchen zu die Stärke des Glases bedeutend zunehmen muß; man muß darauf sehen, daß diese Hälse nicht erst nach dem Erkalten des Cylinders angeschmelzt sind, und daß sie möglichst concentrisch um die mathematische Axe des Cylinders liegen. Die gewöhnliche Größe des Cylinders ist 8 bis 24 Zoll Länge bei 4 bis 12 Zoll Durchmesser. Zuweilen pflegt man dem Cylinder inwendig einen Harzüberzug zu geben, welcher in sofern von Nutzen ist, als er das Beschlagen des Cylinders

Digitized by Google

mit Feuchtigkeit im Innern verhindert. Feuchtigkeit, die sich im Innern des Cylinders leicht ansetzt, bindet (ähnlich wie die Belegung einer Leidner Flasche,) die auf der äußeren Oberfläche durch die Reibung erregte Elektricität. Während bei einem Cylinder von an sich stark elektrischem Glase ein solcher Harzüberzug von geringem Nutzen ist, indem die sich etwa ansammelnde Feuchtigkeit im Innern durch Erwärmung bald ausgetrieben werden kann, ist sie bei Cylindern von schlechterem Glase von großem Vortheil, indem zuweilen ein an sich wenig elektrischer Glascylinder durch einen inneren Harzüberzug stark elektrisch wird. Das Harz in dem Cylinder muß über Feuer geschmolzen werden muß, und da hierbei der Cylinder überall mit dem heißen Harze in innige Berührung kommt, so gewinnt das Glas, namentlich wenn man es ziemlich schnell unter währendem Drehen des Cylinders abkühlen läßt, sehr an Härte und dadurch an elektrischem Vermögen. Man erhält nach Pfaff eine gute Composition zu einem derartigen Harzüberzuge in einem Gemisch von 4 Theilen venetianischem Terpentin, Einem Theile Wachs und Einem Theile Pech, welches Gemisch man einige Zeit über einem gelinden Feuer unter häufigem Umrühren erwärmen soll, um alle Feuchtigkeit daraus zu vertreiben. Nachdem die Masse erkaltet und erstarrt ist, zerschlägt man es in kleine Stücke und wirft eine hinreichende Menge in den Cylinder. Diesen versieht man vorläufig an seinen Enden mit Kappen, welche Zapfen haben*), und legt ihn mit diesen auf ein Gestell so, daß man ihn bequem umdrehen kann. Darauf macht man unter ihm ein gelindes Kohlenfeuer an, und dreht den Cylinder fortwährend um; die Harzmasse wird schmelzen und bei geschickter Regierung des Feuers und des Cylinders über die ganze innere Fläche desselben sich ausbreiten. Durch das Umdrehen des Cylinders wird nicht allein die Ausbreitung der fließenden Harzmasse befördert, sondern auch das Springen des Cylinders verhindert. Man kann sich auch, wie Pfaff sagt, mit großem Nutzen statt der Harzmasse zum inneren Ueberzuge der Cylinder des Bernsteinfirnisses bedienen, den man, um dem Cylinder eine rothe Farbe zu geben, mit etwas Zinnober durch sorgfältiges Zusammenreiben zu einer ganz gleichförmigen nicht mehr griesigen Masse vermischt, mit etwas Kienöl verdünnt in den Cylinder hineingießt, und durch stetes Umdrehen desselben über die ganze Fläche sich verbreiten läßt, wobei das Umdrehen über einem gelinden Kohlenfeuer geschehen muß, welches man so lange fortsetzt, bis die Masse nicht mehr läuft, sondern sich anlegt. Die Seitenflächen der Cylinder, an denen die Halsstücke sitzen, brauchen nicht mit Harz überzogen zu sein. Cylinder, welche von nur geringer Wirkung sind, können durch wiederholtes Erhitzen und dadurch Flüssigmachen der Harzmasse in ihnen und möglichst schnelles Abkühlen nach der Erhitzung ver-

*) Wenigstens eine der Kappen muß mit einer Oeffnung versehen sein, damit die durch die Wärme ausgedehnte Luft aus dem Innern des Cylinders entweichen kann.

Digitized by Google

bessert werden. Oft leistet hierin schon bloßes Aussetzen an die Luft und Einwirkung der Sonnenwärme gute Dienste.

Ueber die Halsstücke des Cylinders kommen Kappen mit nach Außen gehenden eisernen Zapfen. Diese Kappen werden am besten aus recht trockenem und in Oel getränktem Holze verfertigt, oft auch aus Messing, und man befestigt dieselben auf die Halsstücke mittelst eines festen Kittes, den man durch Zusammenschmelzung über gelindem Feuer und Zusammenrührung von 2 Theilen Pech, 2 Theilen Wachs und 1 Theile rothen Ocker erhält. Noch besser ist ein Kitt aus 3 Theilen gelben Pechs und 1 Theile Gummilacks in Tafeln, welches mit feingeriebenem und von allen Sandkörnern befreitem Ziegelmehle gemengt und zusammengeschmolzen wird, woraus man vor der Erstarrung Stangen formt. Bei der Befestigung dieser Kappen muß man vorzüglich darauf sehen, daß die Zapfen grade in die Mitte des Cylinders, d. h. genau in die Lage der mathematischen Axe desselben zu liegen kommen, so daß die Umdrehung des Cylinders um die Zapfen möglichst gleichförmig, ohne alles Werfen bei der Bewegung geschieht, denn sonst wird später auch die Reibung am Reibzeuge nicht gleichmäßig; und wenn dieses schon durch Federn angedrückt wird, doch nicht mit durchgängig gleicher Stärke geschehen und dadurch die Wirksamkeit der Maschine beeinträchtigt werden. Sind daher, welches häufig der Fall ist, die Halsstücke des Cylinders nicht genau concentrisch um die Axe des Cylinders gestellt, so muß diesem Uebelstande bei Aufpassung der Kappen dadurch abgeholfen werden, daß zwischen die Kappe und den Cylinderhals Kartenblatt oder Pappe an der Seite eingelegt wird, von welcher der Hals unregelmäßig abweicht, damit jedenfalls die Zapfen an den Kappen in die Lage der mathematischen Axe des Cylinders kommen. Ob dieses der Fall sei, davon wird man sich am besten überzeugen können, wenn man den Cylinder bei Befestigung der Kappen selbst auf das schon vorher gearbeitete Gestell der Maschine bringt (indem bei Ankittung der ersten Kappe, die zweite vorläufig durch Anbinden befestigt wird), den Cylinder langsam umwendet, seine Bewegung beobachtet, und so lange nachhilft, bis dieselbe möglichst gleichförmig und ohne Werfung geschieht. Die Zapfen müssen in den Kappen unbeweglich festsitzen und mindestens $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke haben; sobald sie genau in der Axe des Cylinders liegen, stehen sie einander natürlich gerade gegenüber. Die Zapfen aus einem Stücke zu arbeiten, so nämlich, daß eine eiserne Stange in der Lage der Axe des Cylinders durch diesen hindurch geht und auf beiden Seiten über die Kappen hervorragt, ist nicht zu empfehlen, weil das Eisen dann die auf der Oberfläche erregte Elektricität bindet, und so die Wirkung der Maschine schwächt. Es ist mehremale vorgekommen, daß ein Cylinder, wenn die Maschine in Thätigkeit war, in viele kleine Glasstücke zersprang, welche zu nicht geringer Gefahr der Umstehenden weit umhergeschleudert wurden. Da der Grund hierzu wahrscheinlich in der durch die Umdrehung und Reibung des Cylinders erhitzten im Innern desselben eingeschlossenen Luft liegt, (welche gemäß der durch die Wärme erfolgenden Ausdehnung eine Platzung des Cylinders veranlaßte, weil sie keinen Raum sich auszudehnen hatte, und

die Wände des Cylinders zu schwach waren den Druck der Luft von Innen zu ertragen); so kann man als Schutzmittel in eine der Kappen eine in das Innere des Cylinders führende Oeffnung machen, wodurch der Luft im Cylinder freier Ein- und Austritt gestattet ist. Um die Kappen (namentlich wenn sie von Messing sind) möglichst zu isoliren, so daß sie nicht im Stande sind, die auf der Oberfläche des Cylinders erregte Elektricität abzuleiten, überzieht man noch die Kappen so wie die Seiten des Cylinders bis zu dem mit dem Reibzeug in Berührung kommenden Theil desselben mit Lack.

Ein anderes Verfahren Muncke's bei Aufpassung der Kappen auf die Cylinderhälse theilt Pfaff mit, welches vor dem angegebenen den Vorzug hat, daß man dabei den Cylinder (welcher inwendig keinen Harzüberzug erhält) nicht dem Kohlenfeuer auszusetzen braucht und damit nicht ein Springen desselben bei der Operation zu befürchten hat. Auch wird die Oeffnung in der Kappe vermieden, durch welche Feuchtigkeit und Staub in den Cylinder kommen kann, (welche den schon angedeuteten Nachtheil haben, daß sie die Elektricität an der Oberfläche des Cylinders binden), indem den Zweck derselben Muncke dadurch zu erreichen sucht, daß er im Innern des Cylinders vorher erwärmte (verdünnte) Luft hermetisch abschließt. Der an einem oder beiden Enden offene Cylinder wird an einem warmen Stubenofen bei sehr trockener Luft allmählig möglichst und anhaltend erwärmt, und mit hineingebrachten heißen Handtüchern mehremals ausgeschwenkt, um durchaus recht trocken zu sein. Dann wird über die Oeffnung der Zapfen (Cylinderhälse) ein geeignetes seidenes Läppchen ausgebreitet, und ein paßlicher Kork so in die Oeffnung hineingedrückt, daß ihn das seidene Läppchen überall umgibt. Was vom Korke übersteht, wird abgeschnitten, und der Zapfen mit erweichtem Siegellack oder Elektrophormasse hermetisch verschlossen, wodurch aller Feuchtigkeit der Zutritt in das Innere des mit etwas erwärmter Luft erfüllten Cylinders abgeschnitten ist. Demnächst werden ausgehölte Korkstücke auf die Zapfen gepaßt, und mit Hausenblase oder Schreinerleim festgeleimt, deren genaues Anschließen an die Wandungen des Glases da, wo die Zapfen angesetzt sind, durch hineingeleimte Keile oder Stücke von Holz bewerkstelliget werden kann. Diese Korkstücke werden dann mit einer Raspel sorgfältig so geformt, daß nach gleichfalls aufgeleimten hölzernen Kappen mit den eisernen Zapfen der Cylinder möglichst concentrisch umlauft, wobei man zu stark weggenommene Stellen des Korkes durch aufgeleimte Stücke Leinwand wieder erhöhen kann.

Der zweite Hauptbestandtheil der Elektrisirmaschine, das Reibzeug, muß vorzüglich die Eigenschaft haben, daß es bei der Umdrehung des Cylinders an diesen fortwährend mit seiner ganzen Oberfläche und mit möglichst gleichförmigem Drucke sich anpreßt. Es ist darum unumgänglich nöthig, daß es durch Federn an den Cylinder angedrückt werde. So wie das Reibzeug den Cylinder bei seiner Umdrehung nicht fortwährend mit seiner ganzen Oberfläche berührt, wird durch dasselbe (an jeder nicht reibenden Stelle) nicht allein momentan keine Elektricität auf der Oberfläche des Cylinders erregt, sondern die freie positive

Digitized by Google

Elektricität des Glases verbindet sich auch mit der Elektricität des Reibzeuges, so daß ein offenbarer Verlust an Elektricität entsteht. Das Reibzeug wird aus einem mit Roßhaaren gepolsterten seidenen Kissen bereitet, über welches ein Stück dünnen Kalbleders gezogen wird. Da das Kalbleder für sich das Glas durch Reibung nicht stark elektrisch macht, so wird auf dasselbe Amalgam (s. d. Art.) aufgetragen, welches nun eigentlich derjenige Körper ist, an welchem der Cylinder sich reibt.

Ueber die Auftragung des Amalgams gibt Baumgartner die Regel, daß man zuerst das Leder des Reibzeuges mit einem Tropfen Baumöl benetzen, dieses über die ganze Lederfläche ausdehnen und sie schwach fett machen soll. Dann soll man mittelst eines anderen ebenfalls befetteten Lederstückes, das man in das gepulverte Amalgam getaucht hat, dasselbe einreiben, bis die ganze Lederfläche gleichförmig glänzt und nirgends Vertiefungen vorkommen, wie sie durch ein zu reichliches Auftragen des Amalgams an einzelnen Stellen leicht entstehen. Bei einer neuen Amalgamirung eines schon gebrauchten Reibzeuges soll man die Lederflächen zweier Reibzeuge*) vorläufig auf einander reiben, um so das alte Amalgam, dessen gleichförmige Vertheilung durch den Gebrauch in der Regel stark leidet, vorläufig ins Gleiche zu bringen.

Das Kissen muß eine feste Rückwand haben, eine metallene Platte oder eine mit Stanniol überzogene Holzplatte, an die es befestigt ist, und welche nach der Rundung des Cylinders gebogen sein kann. Sehr verschiedenartig kann die Art und Weise sein, wie das Reibzeug befestigt und angepreßt wird. Will man von der Elektrisirmaschine stets nur die positive Elektricität in dem pos. Conductor ansammeln, so kann das Reibzeug auf einem hölzernen Gestell befestigt sein, auf dem Stahlfedern angebracht sind, die es gegen den Cylinder drücken. Man kann auch die ganze Maschine auf Glasfüße stellen und dadurch zugleich das Reibzeug isoliren. Am passendsten aber ist es, das Reibzeug für sich zu isoliren (wie bei der oben beschriebenen Maschine), indem man es entweder auf einen gläsernen Fuß stellt, oder, wie Pfaff empfiehlt, sogleich mit dem negativen Conductor in Verbindung stellt. Die hintere feste Wand des Reibkissens hat zwei metallene Zapfen, welche in zwei hinten und vorn offene Hülsen passen, die an der dem Cylinder zugekehrten Fläche des negativen Conductor angebracht sind. Die andrückende starke Stahlfeder befindet sich im neg. Conductor selbst eingeschlossen und ist an das hinlänglich starke Blech desselben an seiner Hinterfläche der Länge nach befestigt; mit ihren beiden gehörig gebogenen Flügel stemmt diese Feder gegen die Zapfen des Reibzeuges. Der neg. Conductor selbst steht auf einer gläsernen Säule, die unten in einem Fuße befestigt ist, welcher in einer Nute des der ganzen Maschine zur Grundlage dienenden Bretes verschiebbar ist, und in jeder be-

*) Bei den Scheibenmaschinen, s. Folg., ist stets mehr als eine reibende Lederfläche.

Digitized by Google

liebten Stellung durch eine Stellschraube befestigt werden kann. Man kann nun durch größere oder geringere Annäherung des neg. Conductors an den Cylinder den Druck des Reibkissens an den Cylinder nach Gutdünken verstärken oder schwächen.

Die verhältnißmäßige Größe des Reibzeuges ist bei Beschreibung der Fig. 13. abgebildeten Cylindermaschine angegeben. Dasselbe noch größer zu machen, würde leicht eine Ableitung durch die Kappen und die metallenen Zapfen des Cylinders veranlassen, während ein kleineres Kissen nicht genug Reibung bewirkte.

Am leichtesten geschieht eine Verbindung der pos. Elektricität des Glases mit der negativen des Reibzeuges da, wo dasselbe bei der Umdrehung aus der Berührung mit dem Reibkissen tritt. Der Beweis ist, daß man an dieser Stelle des Kissens eine feurige Linie wahrnimmt, sobald die Maschine in Thätigkeit gesetzt wird. Um nun diesen Elektricitätsverlust zu vermeiden, wird an der bezeichneten Stelle (wie Nooth zuerst gethan) ein Stück Taffet, gewöhnlich Wachstaffet befestiget, welches über die Oberfläche des Cylinders bis nahe zu den Spitzen des posit. Conductors reicht. Durch die neg. Elekt., welche sich in der Seide erzeugt, wird eine gleich große Menge posit. Elektr. am Cylinder vorübergehend gebunden, welche nun nicht nach dem Kissen zurückgeht, so wenig wie sie beim Hervortreten des Glases unter der dünnen Seide nach dieser zurück geht, sondern sofort durch die Spitzen des Conductors aufgesogen wird. Ein einfacher dünner Seidenlappen thut nach Nicholson's Versuchen bessere Dienste als zusammengelegte oder dicke Seide. Der seidene Lappen muß so befestigt werden, daß er keine starke Falte, keinen Absatz oder Vorsprung, da wo er an das Leder angeheftet ist, macht, sondern er muß eine möglichst gleichförmige Fortsetzung der Lederfläche machen. Man kann ihn vorn an das Reibkissen annähen oder an den über dasselbe geschlagenen Lederlappen anleimen. Den Lederlappen könnte man auch ganz entbehren, und das Amalgam ohne Weiteres auf die über das Kissen gezogene Seide auftragen, indessen fügt sich das Leder genauer an das Glas an und wird weniger leicht zerrieben.

Die Conductoren sind gewöhnlich cylinderförmige, nach allen Seiten wohl abgerundete aus Metallblech verfertigte Körper, welche auf einem Fuß oder auf zwei Füßen von Glas stehen. Man kann sie auch aus Holz oder Pappe verfertigen und mit Stanniol überziehen und kann sie an dünnen seidenen Fäden aufhängen. Diese Art der Befestigung ist aber nicht zu empfehlen, weil die Schnüre leicht voll Staubes werden und dann leiden, und weil die Stellung des Conductors zu unsicher und schwankend ist. An der vom Cylinder abgekehrten Seite, wo man die Funken auszuziehen pflegt, kann man wie die Fig. 13. zeigt eine Kugel anbringen, die an einer vom Cylinder ausgehenden dünnen Stange steckt. Die Kugel kann abgeschraubt, und zu Anstellung gewisser Versuche mit einer Spitze ersetzt werden. Auf der dem Cylinder zugekehrten Seite hat der Conductor nach der Größe des Cylinders einige Spitzen (wie ebenfalls Fig. 13. zeigt), welche in gleicher Richtung mit dem Endrande des seidenen Lappens etwa $\frac{1}{4}$ Zoll

Digitized by Google

unterhalb, und in sehr geringer Entfernung von der Oberfläche des Cylinders stehen. Manche Physiker haben auch keine Spitzen, oder statt deren Quasten von Goldfäden angebracht, die Spitzen haben sich aber als am vortheilhaftesten erwiesen. Den ersten Leiter kann man noch mit einem zweiten größeren gleichfalls isolirten Leiter in Verbindung setzen, den man dann aus einem wohlfeileren Stoffe, nicht aus Metall zu machen pflegt, aus Holz oder Pappe mit Stanniol überzogen.

Das Gestell der Maschine muß im Allgemeinen so eingerichtet sein, daß dasselbe wo möglich gar keine Ableitung der im Cylinder oder im Reibzeuge erregten Elektricität veranlassen kann. Der Hauptsache nach besteht es gewöhnlich aus einem Brete und zwei auf diesem nach der Länge des Cylinders von einander entfernt aufgestellten Säulen von Holz, welche oben die Lager für die Zapfen des Cylinders haben und an deren einem der Apparat zur Drehung des Cylinders angebracht ist. Dieser letztere besteht häufig wie bei der Fig. 13. abgebildeten Maschine in einem Rade, um das und um einen Würtel am Zapfen des Cylinders eine Schnur geschlungen ist. Man kann auch den Cylinder mittelst einer bloßen Kurbel, deren Hauptstiel aus einer Glassäule besteht, umdrehen, aber das Rad dient die Geschwindigkeit des Cylinders bei seiner Drehung zu vermehren. Die Schnur bringt den Uebelstand mit sich, daß sie bei längerem Gebrauche locker und endlich unwirksam wird. Diesem Uebelstande kann man dadurch abhelfen, daß man entweder das Rad höher und niedriger stellbar, oder daß man am Würtel mehre Einschnitte für die Schnur von verschiedenem Durchmesser anbringt. Das Holz, aus welchem man das Gestell der Maschine baut, muß sehr stark ausgetrocknet und in Oel gekocht sein, und man kann es überdieß noch mit Bernsteinfirniß überziehen. Besser ist es, wenn die auf der Grundfläche der Maschine aufstehenden Säulen aus Glas bestehen, diejenige, an welcher das Rad angebracht werden soll, wenigstens theilweise. Sind diese Glassäulen in metallene Kappen verkittet, so ist es zweckmäßig, damit nicht durch die scharfen Ränder dieser Kappen Aufsaugen der Elektricität stattfindet, sie mit wohl abgerundeten Fassungen von trockenem Holze zu umgeben. Ein gleiches gilt von den Glassäulen, welche die Conductoren tragen. Daß die Säulen eine der Größe des Cylinders hinlänglich entsprechende Höhe haben müssen, versteht sich von selbst. Wird die Maschine in Thätigkeit gesetzt, so ist es nothwendig, wenn man die pos. Elektricität am pos. Leiter darstellen will, das Reibzeug, wenn es nicht an sich in leitender Verbindung mit dem Fußboden steht, durch einen von ihm herabreichenden Metalldraht oder eine Kette mit diesem in leitende Verbindung zu setzen. Die Maschine zeigt sich dann bei weitem wirksamer, als wenn das Reibzeug isolirt ist, und zwar um so wirksamer, je vollständiger die Ableitung ist. Daher setzt man bei großen Maschinen die Metallleitung bis an einen feuchten Ort, wo möglich bis in einen Keller oder Brunnen fort. Ist das Reibzeug isolirt, so kann man an dasselbe einen Conductor bringen, den pos. Conductor mit dem Erdboden in leitende Verbindung setzen und nun die neg. Elektr. am isolir-

Digitized by Google

ten, neg. Leiter darstellen. Ueber die Art und Weise der Wirksamkeit der Elektrisirmaschine später.

Beliebter als die Cylindermaschinen, sind jetzt die Scheibenmaschinen, weil man dieselben im Verhältniß zu gleichstarken Cylindermaschinen minder kostbar gefunden, weil sie sich in größeren Ausdehnungen und darum mit größerer Wirksamkeit verfertigen lassen (indem man leicht an einer Maschine mehre Scheiben anbringen, auch die Geschwindigkeit der Bewegung sich leicht vervielfältigen läßt, ohne daß die Bewegung zu schnell wird), weil sie einen verhältnißmäßig geringeren Raum einnehmen, endlich weil sich leichter eine an Beschaffenheit des Glases und (geometrischer) Beschaffenheit der Oberfläche und des Umfanges durchaus gleichmäßige Glasscheibe, als ein in jeder Hinsicht durchaus gleichmäßiger Cylinder finden läßt.

Eine der ausgezeichnetsten Scheibenmaschinen, ist die von van Marum ausgeführte, welche ich näher beschreiben will. Sie hat den Vorzug vor den meisten anderen Scheibenmaschinen, daß mit derselben die neg. Elektricität in gleicher Stärke wie die posit. erhalten, und daß an demselben Leiter die posit. sowohl als die negat. Elektricität dargestellt werden kann. Fig. 14. stellt diese Maschine dar. AB ist eine kreisrunde Scheibe von Glas 32 Zoll im Durchmesser haltend. In der Mitte ist diese Scheibe durchbort, so daß sie auf die Axe LCD gesteckt und an derselben befestigt werden kann. Das Loch in der Scheibe hat zwei Zoll im Durchmesser, und enthält eine Fütterung von Buchsbaumholz, in dem eine Oeffnung von etwa 1 Zoll Weite ist. Die Axe der Scheibe, mittelst welcher dieselbe in drehende Bewegung gesetzt wird, besteht wesentlich aus 2 Stücken, dem metallenen Stücke DC und dem hölzernen Stücke L. Dieses ist aus Holz gearbeitet, damit durch die Axe nicht eine Ableitung der Elektricität stattfinden könne. Zu dem Theile L der Axe wird sehr stark ausgetrocknetes Nußbaumholz genommen, welches überdieß im heißen Zustande mit Bernsteinfirniß überzogen wird, und so gut wie Glas isolirt. Das cylinderförmige Holzstück ist an seinen beiden Enden abgedreht und mit eng anschließenden metallenen Kappen bedeckt, die durch Nägel an das Holz befestigt sind. Ueber die Kappen und das Holz, also über das ganze Stück L, geht eine Bedeckung von Gummilack. Die eine der Kappen ist mit einem Zapfen von 1 Zoll Dicke und 2 Zoll Länge versehen, der in eine Schraube endet. Ueber diesen wird erst eine kleine, die Oberfläche der Zwinge bedeckende Filzscheibe geschoben, darauf die Glasscheibe mit ihrer Oeffnung, dann noch eine kleine Filzscheibe und endlich eine Mutterschraube von Buchsbaumholz, die halbkugelförmig abgedreht ist, aufgesetzt. Zwei Löcher in der letzten dienen einen Schraubenschlüssel aufzunehmen, mittelst dessen die Glasscheibe durch das Anziehen der Schraube an die Axe befestigt wird. Die andere der beiden die Enden des Stückes L überspannenden Metallkappen ist mit ihrem Boden auf die eiserne Axe CD geschraubt. Die Axe der Scheibe und diese selbst werden durch den Einen Ständer T getragen, der aus einer Glassäule besteht, die oben mit einem längeren Gesimse versehen ist. Auf dem Gesimse liegt die eiserne Stange CD, welche den vor-

Digitized by Google

deren Theil der Axe ausmacht, in zwei bei C und D angebrachten kupfernen Lagern. In den Lagern wird die Stange durch zwei Ueberlagen, die sie überspannen und die durch starke Schrauben befestigt sind, gehalten. Damit endlich die Reibung der Stange gegen die Ueberlagen, welche die schwere Glasscheibe durch ihr Uebergewicht verursachen müßte, geringer sei, ist bei F ein Gegenwicht von Blei über die Stange geschoben. Die Kurbel M, welche noch zu völliger Isolirung der Maschine mit einer gläsernen Handhabe versehen ist, dient die Scheibe umzudrehen. Zu beiden Seiten der Scheibe stehen die gläsernen Säulen S und S, welche die Reibzeuge der Maschine, deren zwei Paare sind, tragen. Ein Paar dieser Reibzeuge, durch welche also die Scheibe auf beiden Seiten gerieben wird, stellt Fig. 15. besonders und in größerem Maßstabe dar, als der ist, nach welchem Fig. 14. gezeichnet ist*); und Pfaff theilt folgende Beschreibung ihrer Einrichtung nach van Marum mit. Die Reibzeuge werden aus einer Holzplatte, welche die Rückwand derselben bildet, verfertigt, dieses Holz wird mit einem äußerst locker gesponnenen dicken und elastischen Wollengarn oder auch mit Roßhaaren belegt, und mit schwedischem Hundsleder oder mit dünnem Kalbleder bezogen. Ihre Länge beträgt bei der van Marum'schen Maschine 9 Zoll, wodurch also die Scheibe in einer sehr großen Ausdehnung gerieben wird, und wobei zwar das vordere Ende der Achse sehr nahe kommt, bei der isolirenden Beschaffenheit derselben aber darum doch, wenn negativ elektrisirt wird, kein Ausströmen nach derselben zu befürchten ist. Außerdem aber ist dieses vordere Ende mit Scheiben von Gummilack yy bedeckt, welche auf drei Seiten hervorstehen und verhindern, daß die Ränder und Ecken dieses Theiles zu einem Verluste an Elektricität Veranlassung geben. Die Breite der Reibzeuge beträgt nur $2\frac{1}{2}$ Zoll. Sie werden durch metallene Federn e,e festgedrückt, welche durch eine gemeinschaftliche Schraube nach Gutdünken angezogen werden können. An jedes Reibzeug ist eine metallene Platte x,x angemacht, welche 3 Zoll lang und 1 Zoll breit ist. Sie ist durch Schrauben auf dem Rücken des Reibzeuges befestigt, und diese Platte ist an das Ende der Feder durch ein gewöhnliches Charnier festgemacht. Jedes Paar der Reibzeuge ist durch eine Schraube auf eine kupferne Platte befestigt, welche die Form eines Schwalbenschwanzes hat, und welche in eine Kugel Z von 6 Zoll im Durchmesser, die auf die Zwinge des gläsernen Trägers S geschraubt ist, paßt. Der Theil der Kugel Z (vergl. auch Fig. 14.), welcher dem Rande der Scheibe gegenüber steht, ist bei $\frac{1}{3}$ des Durchmessers abgeschnitten, so daß der Schnitt fast 5 Zoll im Durchmesser hat. An dieser Stelle ist eine Kupferplatte aa von $\frac{3}{4}$ Zoll Dicke angelöthet, welche in Form eines Schwalbenschwanzes ausgehöhlt ist, um den Schieber oder die Klappe von Kupfer ii aufzunehmen. Die Mitte dieses Schiebers ist viereckt durchbort um eine Schraube c durchzulassen. Die Eisenplatte dd,

*) Sie sind so vorgestellt, wie sie von oben gesehen erscheinen, so also, daß die Scheibe zwischen gg und gg zu stehen kommt.

Digitized by Google

welche die beiden Federn ee durch Charniere verbindet, wird über diese Schraube gesteckt, und auf dem Schieber ii durch Hilfe einer starken Schraubenmutter f festgehalten. Man bringt die beiden Schieber ii an ihre respectiven Stellen an der Kugel Z von oben her, und da sie unten schmäler sind als oben, so müssen sie festhalten, wenn sie weit genug herabgedrückt sind. Die dünnen Bleche, womit die Reibzeuge auf ihren Rücken versehen sind, und welche die Charniere xx berühren, indem sie die ganze Breite des Reibzeuges bedecken, schließen sich an die mit Amalgam bestrichene Fläche an. Zu den Reibzeugen gehört auch der Wachstaffet, der wie bei der Cylindermaschinen dazu dient die Elektricität an der Zerstreuung zu hindern. Diese Taffetstücken sind an die Reibzeuge und vermittelst hölzerner Stäbe, die von den Kugeln Z der Reibzeuge ausgehen, befestigt. Der Natur der Sache nach müssen sich an dem einen Reibzeuge diese hölzernen Stäbe in die Höhe erheben, während sie am anderen Ende herunter gingen, im ersten Falle müssen sie länger sein und sind daher um Einsaugen der Elektricität durch die Stäbe zu vermeiden mit einer Kugel versehen, im zweiten Falle sind sie kürzer. Der dritte Haupttheil der Maschine, der Conductor, hat bei der van Marumschen Maschine eine besonders geschickte Einrichtung. Er steht fest auf der unverrückbaren Glassäule R, und besteht wesentlich nur in einer messingenen Kugel Q von 9 Zoll Durchmesser, welche mittelst einer metallenen Kappe auf der Glassäule aufsitzt. Durch die Mitte dieser Kugel geht eine drehbare Axe NO, und an diese sind bei O die beiden von Draht gebogenen Arme P und P befestigt, welche Einsauger bei V und V tragen, die ganz nahe an die Scheibe reichen. Bei der van Marumschen Maschine hatten diese Einsauger keine Spitzen (wie bei den Cylindermaschinen), sondern sie waren Cylinder aus dünnem Kupferbleche mit kugelförmig abgerundeten Enden, 6 Zoll lang und $2\frac{1}{2}$ Zoll breit. Van Marum glaubte durch Spitzen, namentlich durch die den Reibzeugen zunächst gelegenen, könne ein Ausströmen der Elektricität nach diesen stattfinden*). Die beiden Arme PP lassen sich so mit der Axe NO umdrehen, daß sie nach Gutdünken sowohl in horizontale als in vertikale Richtung gestellt werden können. Eine ähnliche Gabel wie diejenige ist, welche die Arme PP machen, ist auf der anderen Seite der Scheibe angebracht, und an die Axe des Cylinders befestigt, da wo das Holzstück derselben mit dem Metallstücke in Verbindung steht. Die beiden Arme NN sind $\frac{1}{4}$ Zoll

*) Pfaff macht die Bemerkung, daß ihn Versuche mit einer ganz nach dem Muster der van Marum'schen eingerichteten Maschine gelehrt haben, daß diese Art von Zuleitern, wenn sie auch der Scheibe noch so nahe gebracht werden, doch die Elektr. nie so vollkommen einsaugen als Spitzen und daß man auch das Ausströmen nach dem Reibkissen und nach der Achse hinlänglich verhütet, wenn man an die Enden der beiden Bogen zwei runde etwa 5 Zoll im Durchmesser haltende etwas ausgehöhlte Scheiben anbringt, die an ihrer der Glasscheibe zugekehrten ausgehöhlten Fläche mit drei Spitzen versehen sind.

Digitized by Google

dicke Messingdrähte, welche kreisförmig gebogen sind; sie tragen an ihren Enden gegen die Scheibe zu ähnliche, aber etwas kleinere Zuleiter wie die Arme PP; mit den anderen Enden sitzen sie an einer Scheibe fest, die über die Axe der Glasscheibe gesteckt ist, und an der sie sich bewegen lassen, so daß sie sich gleichfalls nach Gutdünken sowohl in horizontale als in verticale Stellung bringen lassen. Sämmtliche 4 Glassäulen, welche die Maschine tragen, sind unten in metallene Kappen eingekittet, und diese sind an das Fußbrett festgeschraubt. Die Säulen haben, wie aus dem vorigen hervorgeht, oben und unten Fassungen von Metall. Diese sind der Vorsicht wegen noch mit abgerundeten Fassungen von Mahagoniholz bekleidet, so daß die Metallfassungen nirgends an der Oberfläche liegen, also auch nicht Elektricität zerstreuen oder entziehen können. Will man nun die Maschine in Thätigkeit setzen, so muß eine Kette von C aus die leitende Verbindung mit dem Erdboden herstellen, und will man am Conductor Q positive Elektricität darstellen, so müssen die Arme N und N so horizontal gestellt werden, daß sie mit ihren Zuleitern, der eine oberwärts, der andere unterwärts die Reibkissen berühren, die beiden Arme PP des Conductors dagegen werden vertical so gestellt, daß die Enden der Wachstaffetlappen bis zu ihnen hinreichen. Will man dagegen am Conductor Q negat. Elektricität darstellen, so werden die Arme P und P horizontal an die Reibkissen gestellt, und dagegen die Arme N und N vertikal. Man sieht, daß im ersten Falle durch die Ableitungskette bei C die negative Elektricität (der Reibkissen), im zweiten Falle die positive Elektricität (der Glasscheibe) abgeleitet wird.

Die größte von allen Elektrisirmaschinen, welche jemals gebaut worden sind, ist die von Cuthbertson verfertigte im Taylerschen Museum zu Harlem. Van Marum hat viele Versuche mit derselben angestellt, und sie ist älter als die von ihm selbst erbaute eben beschriebene, steht aber auch dieser in Hinsicht der Zweckmäßigkeit ihrer Einrichtung und daher auch verhältnißmäßig an Wirksamkeit weit nach. Der Hauptfehler derselben besteht darin, daß die negative Elektricität durchaus nicht in gleicher Stärke mit der positiven gewonnen werden kann, weil die Reibzeuge der Maschine nicht für sich isolirt sind, sondern nur dadurch, daß die ganze große Maschine auf Glasfüßen steht und auch die zwei bis vier Mann, welche sie zu drehen erforderlich sind, auf einem isolirten Fußgestelle stehen. Die Maschine hat zwei Glasscheiben, von denen jede 65 engl. Zoll im Durchmesser hat und die auf Einer Axe sitzen in einer Entfernung von $7\frac{1}{2}$ Zoll von einander. Acht Reibkissen erregen bei der Umdrehung die Elektricität an den Glasscheiben und jedes dieser Reibkissen ist $15\frac{1}{2}$ Zoll lang. Um die Ableitung der Elektricität durch die Axe der Scheiben zu verhindern, ist diese so wie an jeder Scheibe ein Kreis von 33 Zoll Durchmesser mit einer Harzmasse überzogen, auch ruht die Axe selbst auf Glassäulen. Der ganze Leiter der Maschine hat eine Fläche von $23\frac{1}{2}$ Quadratfuß, und besteht aus 5 Theilen. In gerader Linie nämlich mit der Axe steht eine 57 Zoll hohe Glassäule, 68 Zoll von den Scheiben entfernt, welche einen kupfernen Cylinder von 22 Zoll Länge trägt, der

Digitized by Google

Kugeln von 9 Zoll Durchmesser am Ende hat. An der von der Maschine abgekehrten Seite dieses Cylinders geht eine metallene Stange abwärts, die in eine 4zöllige Kugel endet; an dem anderen Ende laufen zwei gleichfalls in Kugeln von 6 Zoll Durchmesser endende Arme von 9 Zoll Länge rechtwinklig gegen den Cylinder aus. Ferner stehet auf jeder Seite der Maschine eine ebenfalls 57 Zoll hohe Glassäule, die einen Cylinder von gleicher Größe mit dem beschriebenen trägt. Von jedem dieser zwei seitwärts stehenden Cylinder aus gehet ein rechtwinklig gebogener Arm von 14 Zoll Länge zwischen die beiden Scheiben der Maschine, und auf jeder dieser Seitenarme finden sich 4 Spitzen zum Einsaugen der Elektricität gegen die Scheiben gerichtet. Zwei metallene Cylinder dienen endlich die drei auf den Glassäulen stehenden Leiter unter einander zu verbinden. Die bedeutendsten Funken erhält man bei dieser Maschine aus der vierzölligen Kugel an dem abwärtsgehenden Arme des zuerst erwähnten Cylinders.

Die gewöhnlichste Art von Scheibenmaschinen ist nach Art der Fig. 16. abgebildeten eingerichtet. Hier sind zwei Pfosten senkrecht auf die Grundplatte der Elektrisirmaschine aufgerichtet, zwischen denen sich die Scheibe umdreht und welche auch bei B und B die Reibzeuge (zwei Paar) angebracht sind. Die Reibzeuge stehen hier also in senkrechter Stellung gegen einander, wogegen die Arme des Conductors horizontal gerichtet sind. Diese Einrichtung ist sehr compendiös, hat aber die Nachtheile, daß die Reibzeuge für sich nicht isolirt werden können, und daß durch die Axe Gelegenheit zur Ableitung eines Theils der Elektricität der Scheibe gegeben ist. Das erste ist kein Uebelstand, sobald man mittelst der Elektrisirmaschine nur pos. Elektricität darstellen will.*) Die Ableitung durch die Axe kann durch eine sorgfältige Construction der Maschine wenigstens großen Theils vermieden werden. Bei kleineren Maschinen macht man die Axe aus recht wohl ausgetrocknetem und noch heiß mit Oel getränktem Holze; bei größeren Scheiben wird sie zwar aus Eisen verfertigt, muß aber dann gegen die Scheibe zu mit wohlabgerundeten (halbkugelförmigen) Holzstücken bedeckt sein, auch muß der Theil der Axe, welcher durch die Scheibe geht, mit Holz umgeben sein, schon darum, damit durch das Eisen das Glas nicht beschädigt werde. Die hölzernen Backen zu beiden Seiten der Glasscheibe sind mit Leder belegt, und an das Glas mit einem mit Ziegelmehl versetzten Leim oder mit stark geleimtem Schusterkleister angemacht. Das Hauptstück der Kurbel, mittelst welcher die Scheibe umgedreht wird, muß aus einem Stück einer massiven Glassäule bestehen. Die beiden hölzernen Säulen, welche die Reibzeuge und die Scheibe tragen, müssen ebenfalls aus wohl ausgetrocknetem und wohlgefirnißtem Holze gefertigt werden, müssen möglichst schmal sein und nicht zu nahe an einander stehen. Stehen sie zu nahe an der Scheibe, so werden sie derselben Elektricität entziehen. Die Reibzeuge ferner dürfen weder zu lang noch zu breit

*) Man muß um die Reibzeuge isolirt zu erhalten, die ganze Maschine auf Glasfüße stellen.

Digitized by Google

sein, d. h. sie dürfen nicht mehr als die Hälfte des Halbmessers der Scheibe einnehmen und nur eine Breite von etwa zwei Zoll haben. Ueberdieß müssen sie das Glas in allen Punkten der zwischen ihnen hindurchgehenden Scheibe genau berühren. Sie bestehen aus mit weichem Leder überzogenen Tafeln von Holz, auf das Leder ist das Amalgam (in der oben S. 131. angegebenen Weise) aufgetragen. Unter dem Leder befinden sich einige Blätter Wachstaffet, und vom Reibzeuge aus gehen bis zu den Einsaugern des Conductors auf der Seite, wo die Scheibe bei der Umdrehung die Reibzeuge verläßt, Flügel von Wachstaffet, welche eine ununterbrochene Fortsetzung der Lederflächen der Reibzeuge sein müssen. Zum besseren Ableiten der negat. Elektricität (welches, wie schon oben gesagt, zu größerer Gewinnung posit. Elektr. nöthig ist) wird jedes Reibzeuges mit dem Gestell an der Seite des Reibzeuges, wo bei der Umdrehung der Scheibe das Glas in Berührung mit demselben tritt, durch einen schmalen Streifen Zinnfolie (der mittelst aufgelösten Schellacks befestigt wird) am besten in leitende Verbindung gesetzt. Beim posit. Elektrisiren wird dann eine leitende Verbindung zwischen dem Gestell der Maschine und dem Fußboden hergestellt. (Vergl. oben S. 133.) Der Conductor wird am besten ähnlich wie der bei der van Marumschen Maschine gemacht, nur brauchen sich seine Arme nicht um eine durch die Kugel gehende Axe drehen zu lassen. Er besteht also namentlich aus einer Kugel (von Messingblech) mit zwei nach der Größe des Durchmessers der Scheibe aus einander gebogenen Armen, die an ihren Enden mit Einsaugern (Spitzen auf abgerundeten kleinen Cylindern) versehen sind. Die Arme können zu beiden Seiten der Kugel ausgehen; und die Oberfläche der Kugel sammt der Arme darf nicht mehr als die Hälfte der Oberfläche der Scheibe betragen.

Endlich glaube ich noch die Beschreibung einer sehr vollkommenen Scheibenmaschine mittheilen zu müssen, welche Pfaff von seiner eigenen Maschine gibt. Dieselbe zeichnet sich durch eine besonders einfache und sorgfältige Construction aus, so wie dadurch, daß positive und negative Elektricität gleich leicht und in gleicher Stärke an ihr dargestellt werden können, und hat das Eigenthümliche, daß sie nur Ein Paar Reibkissen hat. Durch diesen letzteren Umstand gibt sie zwar (beim Laden von Flaschen und Batterien) eine verhältnißmäßig geringere Quantität Elektricität, als z. B. die van Marumsche Maschine, ist aber von ausgezeichneter Wirkung in Bezug auf einfache Elektricität, wie sie in dem unmittelbar aus dem ersten Leiter gezogenen Funken auftritt. Fig. 17. und 18. gibt die Ansicht der Maschine von vorn und von der Seite, alle Maße derselben sind genau nach Pariser Maß bei jedem Theile bemerkt. Fig. 19. gibt die Ansicht eines Reibkissens nach größerem Maßstabe. Die Scheibe, sagt Pfaff, von dem besten positiven Glase, deren Rand am Umfange sehr genau abgeschliffen ist, worauf bei Scheiben sehr viel ankommt, ist auf eine sehr einfache und doch solide Weise auf ihre hölzerne Axe gefaßt. An dieser ist nämlich auf der einen Seite des Glases, welche nach der Kurbel hingerichtet ist, eine hölzerne Halbkugel aus einem Stücke gedreht, angebracht, in der anderen Hälfte der Axe dagegen, da wo sie an das Glas angrenzt, ein

Digitized by Google

Schraubengewinde eingeschnitten. Nachdem die Axe durch das Loch der Scheibe, das nicht ausgefüttert zu sein braucht, durchgesteckt ist, wird eine andere gleich große Halbkugel, in welche eine jener männlichen entsprechende weibliche Schraube eingeschnitten ist, auf dieselbe auf und fest an die Glasscheibe angeschraubt, und um dieses Anschrauben recht dicht machen zu können, werden die nach der Scheibe hingekehrten Flächen der beiden Halbkugeln mit Scheiben von weichem und recht gleichförmigem Schafleder versehen, die zu diesem Behuf in der Mitte ein Loch haben, um auf die Axe aufgesteckt zu werden. Das feste Anschrauben geschieht mittelst eines starken zweiarmigen Schraubenziehers, zu dessen Anbringung in jener aufzuschraubenden Halbkugel die nöthigen Löcher angebracht sind. Die hölzerne Axe ist von einem recht trockenen und harten Holze, und um sie noch isolirender zu machen, so wie die Halbkugeln mit einem guten Firniß dick überzogen. Diese Axe ruht auf beiden Seiten auf zwei hohen massiven Glassäulen, welche in eine starke hölzerne Fassung von Mahagoniholz mit einem eingeschnittenen Lager für die Axe eingelassen sind. Die obere Hälfte dieses Lagers ist durch zwei starke Holzschrauben mit wohl abgerundeten Köpfen fest angeschraubt. Die Kurbel ist eine starke Glasstange, deren Handgriff ebenfalls von wohlpolirten Mahagoniholze gemacht ist, und die am andern Ende in eine große ringförmige Fassung von Mahagoniholz, welche über die Achse greift, eingekittet ist. Das Reibzeug besteht aus zwei Stücken, einem hölzernen, an welches die das Kissen andrückende Feder befestigt ist, und dem eigentlichen Reibzeugkissen g g, welches davon getrennt werden kann. Das untere Stück ist mit einem Ansatz in die hölzerne Kugel d fest eingelassen und mit dieser Kugel auf die Glassäule p p, wodurch der Reibungsapparat auf das vollkommenste isolirt ist, festgekittet. Auf der inneren Seite dieser in die Kugel eingelassenen Stücke ist eine starke gabelförmige, eiserne, wohl lackirte Feder angebracht, die mit ihrer Krümmung an die dem Rande der Scheibe zugekehrte Fläche der hölzernen Kugel durch eine Schraube befestigt ist, mit ihren beiden Armen längs den Ansätzen jener Holzstücke an ihrer inneren Seite hinläuft, mit denen auf beiden Seiten eine aufwärts gehende gabelförmige Feder verbunden ist, die mit ihren weit auseinander stehenden Armen in zwei Höhlungen des eigentlichen Reibkissens eingreift. Zu diesem Behuf besteht dieser Theil des Reibers aus einer starken Holzplatte mit einem Rahmen, über welchem das eigentliche mit gutem Kalbsleder überzogene Kissen gespannt ist, an dessen Rückseite noch kreuzweise federnde Streifen von Eisenblech angebracht sind, an welchen die gabelförmige Feder anliegt. Um diesen für sich beweglichen und abnehmbaren Theil des Reibzeuges an der gabelförmigen Feder festzuhalten, sind die Enden ihrer Arme in Ringe umgebogen, durch welche der messingene Stab p p gesteckt wird, der an seinem Ende mit der elfenbeinernen Kugel r versehen ist, um alles Ausströmen (der Elektricität) zu verhindern. Um das Reibkissen beliebig stark andrücken zu können, geht auf jeder Seite durch den Rücken des festen Theiles eine hölzerne Schraube, welche auf die aufwärts gehende Feder, da wo sie sich in die Gabel spaltet, aufdrückt, und nach dem Grade, wie sie an-

Digitized by Google

gezogen wird, diesen mehr oder weniger stark an den gegen die Scheibe gekehrten elastischen Theil des eigentlichen Reibkissens andrückt. Der horizontale Theil der Feder ist an einen Messingstab angeschraubt, der durch die Kugel d hindurchgeht und an seinem Ende eine hölzerne wohl lackirte Kugel e trägt. Alle Ränder der Reibzeuge sind auf das vollkommenste abgerundet, und alles Holzwerk ist wohl überfirnißt.

Der Einsauger c (Fig. 17.) ist eine Gabel von wohl lackirtem nach außen abgerundetem Holze, von derselben Länge wie das Reibkissen, deren innere Fläche ausgehöhlt und mit einigen Spitzen besetzt ist, über welche noch ein ganz dünner Taffet gespannt ist. Diese Spitzen sind in Metallstreifen eingelassen, welche in Verbindung mit einem kupfernen Stifte sind, der durch die Kugel c hindurchgeht, frei in einer Länge von 7'' hervorsteht, und eben so wie der messingene Stab am Reibkissen mit einer hölzernen Kugel b sich endigt. Zwischen den Armen dieser Gabel bewegt sich die Scheibe so nahe durch, daß sie beinahe von ihr berührt wird. Um den Taffet gehörig zu spannen, ist oben in das Lager der Axe ein wohl lackirter hölzerner Stab eingesteckt, der sich in eine Glassäule endigt, von welcher ein hölzerner Querarm ausgeht, der zwei mit der Scheibe in einer Richtung befindliche, an ihren beiden Enden durch eine Kugel von Elfenbein zusammengehaltene Leisten trägt, zwischen welche der Taffet geklemmt ist, der mit dem unteren Rande der nach dem Reibkissen gerichteten Flügel an diese selbst angenäht ist.

Zu dieser Maschine gehören zwei Conductoren von Messingblech, (Fig. 20.) die auf beinahe 3 Fuß hohen Glassäulen isolirt stehen, von cylindrischer Form, 3'11'' lang und 4''2''' im Durchmesser, die sich in zwei Knöpfe von einem etwas größerem Durchmesser endigen, in deren Mitte messingene Röhren, die bis zu einer Länge von 1'2'' ausgezogen werden können, eingesteckt sind, wovon sich die eine in eine kupferne Kugel von 4''3''', die andere in eine Kugel von 2''4''' endigt. Beim Gebrauche der Maschine werden diese Conductoren mit ihren kleinen Kugeln in dichte Berührung mit den messingenen Stäben in senkrechter Richtung auf dieselben gebracht, und da unter diesen Umständen auf beiden Seiten sich alles auf gleiche Weise verhält, so werden die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten der posit. und negat. Elektricität um so entscheidender, und es ist ein ganz besonderer Vortheil dieser Einrichtung, daß man mit beiden Elektricitäten zu gleicher Zeit ganz unter denselben Umständen experimentiren kann. Da nur ein Paar Reibzeuge hier angebracht ist, so geschieht die Bewegung dieser Maschine mit großer Leichtigkeit, auch bei starkem Andrücken der Reibkissen. Der größte Vortheil dieser Art der Construktion ist jedoch die bei gleichem Durchmesser der Scheiben größere Entfernung des ersten Leiters vom Reibkissen, als bei der Anbringung von zwei Paar Reibkissen, wodurch die Entladung des ersten Leiters nach dem Reibkissen, und umgekehrt (letzteres beim negat. Elektrisiren) erschwert wird, und die Anhäufung und Intensität der Elektr. im Conductor und eben damit die Länge und Stärke des einfachen Funkens, die Größe der Feuerbüschel u. s. w. sich viel weiter treiben läßt. Wenn man mittelst dieser Ma-

Digitized by Google

schine Batterien laden will, wird der große Leiter gar nicht gebraucht, sondern die Verbindung unmittelbar mit dem aus der Kugel des gabelförmigen Einsaugers hervorstehenden Messingstabe gemacht, so wie denn auch, wenn man bloß Versuche mit posit. Elektr. anstellen will, der andere große Conductor nicht gebraucht, sondern das Reibzeug durch einen starken Draht unmittelbar mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird.

Zu den größten Scheibenmaschinen, welche gebaut worden, gehört nächst der angeführten im Taylerschen Museum die dem Prinzen Heinrich von Würtemberg gehörige, welche vermuthlich jetzt in Petersburg ist, ferner eine dem Herzoge von Chaulnes gehörige, die nach Sigaud de la Fond eine Scheibe von 5 Fuß Durchmesser hatte und 22 Zoll lange Funken gab, endlich die Maschine im polytechnischen Institute in Wien, deren zwei Scheiben auf einer gläsernen Axe laufen und die isolirte, an hohe Glassäulen befestigte Reibzeuge hat. Daß aber am Ende zu Herstellung einer sehr wirksamen Elektrisirmaschine es mehr auf treffliche Einrichtung, namentlich auf sorgfältige Isolirung, auf Beschaffenheit des Glases der Scheibe, auf zweckmäßige Einrichtung der Reibzeuge u. s. w. ankommt, geht aus der trefflichen Wirksamkeit hervor, welche eine von Pfister gebaute Elektrisirmaschine zeigt, deren Scheibe nur 28 Zoll Durchmesser hat. Pfister hat über die Einrichtung seiner Maschine folgendes mitgetheilt.

Die 28 Zoll im Durchmesser haltende Scheibe ist in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäßig 2 Linien dick, und ist aus venetianischem Spiegelglase geschnitten. Die Reibzeuge sind 7 Zoll lang, 2 Zoll breit und 1 Zoll dick, gegen die Glasseite ganz flach, am Rücken hingegen cylindrisch abgerundet; jedes derselben ist mit lackirtem Taffet, und überdieß noch gegen die Axe zu mit ovalen Spiegelgläsern versehen. Eine eigene Einrichtung macht die Reibzeuge nach allen Richtungen beweglich, gleichsam als bewegten sie sich in einer sogenannten Nuß, so daß sie immer an das Glas gleichmäßig angedrückt werden, wenn auch dieses auf seiner Axe nicht vollkommen senkrecht befestigt wäre, oder die Scheibe ungleich dicke Stellen hätte. Der Conductor besteht aus einer getriebenen Kugel von Messingblech, die 10 Zoll im Durchmesser hält. Diese Kugel ruht auf einer ebenfalls messingenen Glocke, deren Randstärke 2 Zoll beträgt, und in eine Oeffnung eine verticale Glassäule von 2 Zoll 6 Linien Länge (?) und 2 Zoll Dicke aufnimmt, die mit dem unteren Ende in den Fuß eingekittet ist, der sich auf dem Bodenbrete der ganzen Maschine verschieben, und auch in jeder Lage mittelst einer Schraube befestigen läßt. Die Arme des Conductors sind 1 Zoll dick und bilden einen Halbzirkel von 3 Fuß Durchmesser. Sie lassen sich in eine horizontale Ebene stellen, und nehmen dann die Elektricität von der Scheibe auf, aber auch in eine verticale Ebene bringen, damit ihnen die negative Elektricität der Reibzeuge zufließen kann*). Die Sauger bestehen aus 1 Zoll

*) Hieraus folgt, daß die Reibzeuge oben und unten (nicht seitwärts) an der Maschine angebracht sind.

Digitized by Google

dicken Röhren, ihre Länge beträgt 5 Zoll, jeder derselben hat 4 Spitzen, die ½ Zoll lang sind. Gegen die Axe der Scheibe zu sind sie mit Kugeln aus Guajakholz versehen*). Muncke, der diese Maschine genauer untersucht hat, findet den Grund ihrer bewunderungswürdigen Mächtigkeit vorzüglich in dem ganz ebenen Anliegen der Reibzeuge, hauptsächlich aber der von diesen ausgehenden, durch ein Glimmerblättchen gesteiften und aus mehren Lagen bestehenden Flügel von gefirnißtem Seidentaffet.

Aus dem Wesen der Elektricität und der Beschaffenheit der Elektrisirmaschinen ergeben sich einige allgemeine Regeln für den Gebrauch derselben. Die Elektrisirmaschine darf in keinem feuchten Zimmer aufgestellt sein, auch muß das Zimmer, in dem sie steht, heizbar sein, um die etwaige Feuchtigkeit der Luft durch Wärme vermindern zu können, trockene Kälte erhöht die Wirksamkeit der Elektrisirmaschine vielmehr, als sie dieselbe vermindert. Besonders muß man die Maschine vor dem Bestauben zu bewahren suchen; jedes Staubkörnchen ist ein spitzer Körper, welcher die Elektricität ausströmen macht. Alles was an der Maschine von Metall gearbeitet ist, muß im höchst polirten und glänzenden Zustande erhalten werden, daher es nie mit der bloßen Hand berührt werden darf. Durch jede solche Berührung entsteht ein matter Fleck, aus welchem man im Dunkeln die Elektricität ausströmen sieht. Vor jedem Gebrauche der Maschine muß man die Scheibe und alle übrigen Theile derselben mit einem trockenem Tuche sorgfältig abwischen, um allen Staub, der sich etwa angesetzt hat, wegzunehmen. Hierauf muß man die Reibzeuge so fest an die Scheibe (oder den Cylinder) andrücken, daß man nur grade noch die Maschine in Bewegung zu setzen im Stande ist, und muß hierbei den Körper so wenig als möglich in die Nähe der Maschine bringen. Wenn man untersuchen will, ob irgend ein Theil der Maschine zu Ausströmung der Elektricität Gelegenheit gebe, beobachte man die in Thätigkeit gesetzte Maschine im Dunkeln; wo die ausströmende Elektricität sichtbar wird.

Die Art und Weise, wie mittelst einer Elektrisirmaschine, zunächst einer Cylindermaschine, Elektricität erregt und auf der Oberfläche des Conductors angehäuft wird, ist leicht zu begreifen, wenn man einigermaßen das Wesen der Elektricität kennt (s. d. Art. Elektricität.) Durch die Reibung des Glascylinders am Amalgam des Reibzeuges wird das Glas positiv, das Reibzeug negativ elektrisch, und zwar das Glas zunächst an der eben geriebenen Stelle, diese nähert sich nun dem Conductor, d. h. einem isolirten Leiter, der sich fürs erste noch im unelektrischen Zustande befindet, in dem also posit. und negat. Elektricität sich gegenseitig binden. Indem nun das posit. elektrische Glas in seine Nähe kommt, scheidet sich ein Theil der negat. Elektricität des Leiters von einem gleich großen Theil vorher von ihm gebundener posit. Elektricität und verbindet sich mit der freien posit. Elektr. des Glases; dadurch bleibt am Leiter ein gleich großer Theil posit. Elektr. frei zu-

*) Die Versuche mit dieser Maschine s. im Folgenden.

Digitized by Google

rück, so daß es den Anschein hat, als habe der Glascylinder seine positive Elektr. unmittelbar an den Conductor abgegeben. So wie nun bei der fortwährenden Umdrehung des Cylinders oder der Scheibe ohne Aufhören durch Reiben elektrisch gewordenes Glas dem Conductor sich nähert, wird in diesem ununterbrochen eine der vom Cylinder mitgebrachten gleiche Quantität positiver Elektricität frei, und so sammelt sich gleichsam die immer aufs neue durch Reibung im Cylinder erregte Elektricität im Conductor. Dieser ist darum unumgänglich nöthig, weil selbst wenn am Glascylinder durch fortdauerndes Reiben eine gleich große Quantität Elektricität sich ansammeln könnte wie am Conductor, man doch nie diese Quantität auf einmal entziehen könnte, weil das Glas ein Isolator ist, also bei der Berührung stets nur die unmittelbar berührten Theile entladen werden, während ein Conductor durch Berührung an Einem Punkte (oder durch Ausziehung eines Funkens) völlig entladen wird*). Mit Hilfe der Elektrisirmaschine kann man nun die Eigenschaften der Elektricität, wie sie im Art. Elektricität angegeben worden, aufs deutlichste beobachten. In der Nähe des geladenen Conductors empfindet man, noch ehe man den elektrischen Funken und Schlag erhält, das Gefühl wie wenn die entblößten Theile des Körpers mit Spinnenweben sich überzögen, man nimmt den phosphorähnlichen Geruch wahr, so wie alle feurigen Erscheinungen der Elektricität, die Erscheinungen der Mittheilung und Vertheilung.

Bisher hat man zur Herstellung der wirksamsten Elektrisirmaschinen sich allgemein des Glases bedient, indem man dieses für den durch Reiben am stärksten elektrisch werdenden Körper hielt. Döbereiner hat indeß in neuster Zeit gefunden, daß Porzellanröhren aus der Fabrik von Nathusius auf Althaldensleben bei Magdeburg beim Reiben mit einem seidenen Tuche schneller und stärker elektrisch werden als die Glasröhren, und hat deßwegen derartiges Porzellan zu Elektrisirmaschinen empfohlen. Es ist mir indeß bis jetzt keine Elektrisirmaschine bekannt, bei welcher man sich des Porzellanes statt des Glases bedient hätte.

Ehe ich zu der Beschreibung einiger minder wirksamen, auch weniger gebräuchlichen Arten von Elektrisirmaschinen übergehe, die von verschiedenen Physikern construirt worden, will ich, um den Werth jener bei ihrer Erwähnung sogleich angeben zu können, über die Wirksamkeit der Glascylinder und Scheibenmaschinen (namentlich der oben beschriebenen), die Art, in welcher man dieselbe bestimmt, um einen Vergleich der verschiedenen Maschinen anstellen zu können, sprechen. Zugleich wird hieraus der Vorzug der Scheibenmaschinen vor den Cylindermaschinen klarer hervorgehen.

Es kommt, wenn die Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine geschätzt werden soll, auf die Menge von Elektricität an, welche mittelst derselben in einer gewissen Zeit oder genauer durch eine gewisse Anzahl

*) S. S. 89 u. S. 92 dieses Bandes.

Digitized by Google

von Umdrehungen des geriebenen Körpers erzeugt werden kann. Dabei müssen, sollen zwei Elektrisirmaschinen ihrer Wirksamkeit nach unparteiisch geprüft werden, die äußeren Umstände, unter denen die Versuche vorgenommen weeden, bei beiden ganz gleich sein; beide müssen die vollkommenste bei ihnen mögliche Isolirung ihrer Theile haben, die Temperatur, der Feuchtigkeitszustand der umgebenden Luft müssen gleich sein, die Ableitung gleich gut u. s. w. Da indeß eine so völlige Uebereinstimmung der äußeren Umstände selten hergestellt werden kann, so ist auch schon hiernach eine streng entscheidende Prüfung ihrer verhältnißmäßigen Wirksamkeit nicht wohl möglich. Die noch am wenigsten trügliche Entscheidung gibt der Vergleich der Leistungen verschiedener Maschinen, welche als die unter den vortheilhaftesten Umständen größten nach längerem Gebrauche angegeben werden. Die Wirksamkeit einer Maschine hängt keineswegeS allein von der Güte des Glases und der Reibzeuge, der völligen Isolirung und ähnlichem ab, sondern auch von der Größe und Gestalt der die Elektricität auffammelnden Leiter. Was die Größe des Conductors betrifft, so könnte man auf den Gedanken kommen, daß man allein durch diese die Wirksamkeit einer Maschine bestimmen könne, durch viele Umdrehungen einer kleinen Maschine, sollte man meinen, müsse sich am Ende so viel Elektricität an dem isolirten Leiter, wenn er recht groß wäre, anhäufen lassen, als durch wenigere Umdrehungen einer größeren Maschine. Nicht allein aber streitet die Erfahrung hiergegen, sondern es läßt sich auch aus den Kenntnissen, die wir von dem Wesen der Elektricität besitzen, einsehen, daß für die Elektricitätsmenge, welche durch eine Umdrehung erzeugt wird, auch eine verhältnißmäßige Größe des Conductors als die geeignetste sich erweisen müsse; Ueberschreitung dieser Größe aber Schwächung der Wirksamkeit der Maschine zu Folge haben müsse. Da nämlich durch die umgebende Luft, (und selbst wenigstens anfangs auch durch die den Conductor tragenden Glassäulen) in der ganzen Ausdehnung der Oberfläche des Conductors eine gewisse Quantität freier Elektricität entführt wird, so wird bei einer kleinen Maschine, die einen unverhältnißmäßig großen Conductor hat, die Zerstreuung der Elektricität an der Oberfläche des Conductors in einer bestimmten Zeit so groß oder nahe so groß sein, als die geringe Quantität Elektricität, welche dem Conductor in derselben Zeit mittelst der Scheibe oder des Cylinders der Maschine zugeführt werden kann. Dazu kommt noch, daß auf einem weit ausgedehnten Conductor auch die Gefahr sich mehrt, daß Hervorragungen (Staubtheilchen, Unebenheiten in der Politur u. s. w,) sich finden, welche das Ausströmen der Elektricität befördern. So kann die Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine durch einen zu großen Conductor vermindert, ja bis auf 0 herabgesetzt werden, und für jede einzelne Maschine wird eine bestimmte Größe des Conductors die angemessenste und vortheilhafteste sein, welche diese aber sei, läßt sich bei der Unbestimmtheit des Einflusses der übrigen Theile jeder Maschine auf Elektricitätserregung nur durch Versuche bestimmen*).

*) S. den Art. Elektricität.

Digitized by Google

Die Gestalt des Conductors ist nicht minder von Einfluß auf die Wirksamkeit der Maschine. Abgesehen davon, daß Ecken und Spitzen durch das Ausströmen der Elektricität nachtheilig sind, daher jeder Conductor eine völlig abgerundete Oberfläche haben muß, kommt auch noch der Umstand in Betracht, daß, wie Coulomb's Untersuchungen dargethan haben, die Elektricität an den Enden eines cylinderförmigen Conductors bei weitem stärker angehäuft ist, als in der Mitte desselben. Nach Coulomb ist dieses Verhältniß der Dicke der elektrischen Schicht an den Enden gegen die in der Mitte bei einem Cylinder, der sich beiderseits in Halbkugeln endet, und auf dem sich die Elektricität, ohne daß ein in der Nähe befindlicher Körper Einfluß ausübt, frei ins Gleichgewicht setzen kann, wie 2,3 : 1. Cylindrische Leiter geben auch, wie die Erfahrung lehrt, die längsten Funken an den Enden, die kleinsten in der Mitte, denn da, wo die Elektricität am stärksten angehäuft ist, muß sie auch aus der größesten Entfernung einem genäherten Körper sich mittheilen. Die Größe der Schlagweite und des Funkens wird ansehnlich vermehrt, wenn man in das von der Maschine abgewendete Ende des Leiters einen nicht mehr als 2 Linien dicken Draht einsteckt, der in eine verhältnißmäßig nicht zu kleine Kugel endet. Bei den kugelförmigen Conductoren der oben beschriebenen van Marum'schen Maschine, so wie bei der Pfaff'schen u. a. sind derartige Kugeln an Drähten zu Ausziehung des Funkens aus größerer Entfernung angebracht.

Die Wirksamkeit nach der Größe, dem Durchmesser, der Intensität des Funkens, welchen sie gibt, oder nach der Dicke und Länge der Feuerbüschel zu bestimmen, ist mißlich, weil bei diesen elektr. Erscheinungen mancher Nebenumstand von Einfluß ist, wie (nach dem eben angeführten) die Gestalt und Größe des Conductors, der Durchmesser der den Funken ausziehenden wie der den Funken gebenden Kugel. Wenigstens müssen die Größen der Durchmesser dieser Kugeln zugleich angegeben werden, wenn man aus der Beschaffenheit des Funkens einigermaßen auf die Wirksamkeit der Maschine schließen will. Ein mehr zuverlässiges Maß dieser Wirksamkeit hat man in der Anzahl von Umdrehungen, welche erforderlich sind, um eine Leidner Flasche oder Batterie zum Selbstentladen zu bringen. Man kann dann diese Angabe auch so ausdrücken, daß man angibt wie viele Quadratfüße der Glasfläche (des Cylinders oder der Scheibe) gerieben werden mußten*), um die Ladung eines oder mehrer Quadratfuße Belegung zu bewirken. (S. d. Art. Flasche.)

Eine der stärksten Cylindermaschinen ist diejenige, von welcher Nicholson Nachricht gegeben hat. Dieselbe hatte einen Durchmesser von 12 Zoll, ein Reibzeug von 7½ Zoll, und eine Kugel von 5 Zoll Durchmesser gab öfters Funken, welche 14 Zoll lang waren; eine Kugel von 7 Zoll Durchmesser gab 10¾ Zoll lange Funken. Eine Leidner Flasche von fast 2½ Quadratfuß Belegung wurde bis zur freiwilligen Entladung

*) Eine Größe, die sich aus der Zahl der nöthigen Umdrehungen, der Oberfläche des Cylinders und der Oberfläche des Reibzeuges ergibt.

Digitized by Google

geladen. Die Anzahl der Quadratfuße von der Oberfläche, welche gerieben werden mußten, um Einen Quadratfuß Belegung zu laden, war wenigstens 18,03, höchstens 19,34.

Besonders ausgezeichnet sind die Wirkungen der großen von Cuthbertson für die Taylersche Sammlung gebauten, und oben S. 137. f. beschriebenen Maschine; obschon ein Vergleich mit den Leistungen anderer namentlich der van Marumschen Maschine lehrt, daß sie bei weitem nicht der Größe der Maschine angemessen sind, wovon der Grund namentlich in der mangelhaften Vorrichtung liegt, durch welche die Reibzeuge isolirt werden. Wenn eine sehr scharfe stählerne Spitze dem ersten Leiter genähert wurde, so zog sie doch noch einen Lichtbüschel von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Länge heraus. Wurde eine derartige scharfe stählerne Spitze auf den Leiter so befestigt, daß sie 3 Zoll hervorragte, so gingen 6 Zoll lange Strahlen von ihr aus, sobald man eine Kugel von 3 Zoll Durchmesser dagegen hielt; hielt man aber nicht eine Kugel, sondern eine andere Spitze jener ersten entgegen, so waren die Strahlen nur 2 Zoll lang. Der erste Leiter zog einen Zwirnfaden von 6 Fuß Länge, der in einer Entfernung von 38 Fuß von ihm senkrecht aufgehangen war, aus seiner Stelle. Die Kugel am Conductor von $23\frac{1}{4}$ Quadratfuß Oberfläche, welche die Funken gibt, hat nur 4 Zoll im Durchmesser, der auffangende Leiter ist ein 22″ langer und 8″ im Durchmesser haltender Cylinder, welcher in Kugeln von 12 Zoll im Durchmesser endet. In Einer Minute gab bei günstiger Witterung der erste Leiter gegen die auffangende Kugel 300 Funken, jeder 24 Zoll lang und wie ein Federkiel dick, welche sich schlängelten und an den Krümmungen 6 bis 8 Zoll lange Strahlen schießen ließen. Man konnte einen 6 Fuß langen Funken erhalten, wenn man denselben über die Fläche eines schlechten Leiters führte. Ein isolirter 207 Fuß langer Draht am Leiter wurde bei jedem Funken in seiner ganzen Länge erleuchtet, und schoß überall Lichtbüschel von 1 Zoll aus. Eine Batterie von 225 Quadratfuß belegter Fläche wurde durch 160 Umdrehungen der Scheiben geladen. Ein Schlag dieser Batterie spaltete ein Cylinder von Buchsbaumholz 4 Zoll hoch und 4 Zoll im Durchmesser, wozu nach van Marum's Berechnung eine Kraft von 9840 Pfund erforderlich war. Ungleich schwächer als der positive war an dieser Maschine der negativ elektrische Funken. Derselbe erreichte nur eine Länge von 10 bis höchstens 11 Zoll. Zunder, Schießpulver u. s. w. wurde entzündet und ein Goldblättchen $1\frac{1}{2}$ Linien breit und 20 Zoll lang wurde geschmolzen. Während die Maschine in Wirksamkeit war, wurde die umgebene Luft durch sie so stark elektrisch, daß an Cavallo's Elektrometer die Kugeln schon bei einer Entfernung von 40 Fuß von der Maschine um $\frac{1}{4}$ Zoll weit auseinander gingen.

Van Marum hat seine Elektrisirmaschine (s. oben S. 134. ff.), welche nur Eine Scheibe von 31 Zoll Durchmesser hat, mit der Cuthbertsonschen Maschine von 2 Scheiben zu 65 engl. Zoll Durchmesser verglichen, indem er die Anzahl von Umdrehungen bemerkte, welche an jeder Maschine gemacht werden mußten, um eine Batterie von 90 Flaschen, jede über einen Quadratfuß Belegung habend, bis zur

Digitized by Google

Selbstentladung zu laden. An der Taylerschen Maschine brachten 66 Umdrehungen, an der van Marumschen 150 Umdrehungen diese Wirkung hervor. Berechnet man nun hiernach und nach der Größe der Scheiben und Reibzeuge die Quadratzolle, welche an jeder Scheibe zu Hervorbringung der angegebenen Wirkung gerieben werden müssen, so ergibt sich das bei der Taylerschen 1272678, bei der van Marumschen dagegen nur 373200 Quadratzoll gerieben wurden, die Wirksamkeit der van Marumschen verhielt sich folglich zur Wirksamkeit der Taylerschen Maschine wie 1272678 : 373200, d. h. ungefähr wie 3,5 : 1. Eine nach Art der van Marumschen gebaute Scheibenmaschine von der Größe der Taylerschen, mußte folglich eine drei bis viermal so große Wirkung geben, als die Taylersche Maschine nach der Cutbertsonschen Einrichtung wirklich gab.

Von der Wirksamkeit seiner Scheibenmaschine (s. oben S. 139. ff.) gibt Pfaff folgendes an. Die Anzahl der Quadratzolle, welche bei einer Umdrehung gerieben werden, ist nur halb so groß, als wenn die Maschine nach Art der van Marumschen eingerichtet wäre, weil sie nur Ein Paar Reibkissen hat, sie ist daher auch weniger geeignet zur Ladung von Batterien; dagegen gestattet sie die größtmöglichste Anhäufung der Elektricität am Conductor, indem bei geringerer Entfernung die Entladung längs dem Glase hin nach dem Reibkissen eher eintritt, als das freiwillige Ausströmen der Elektricität an die Luft, welches in allen Fällen die Grenze der Anhäufung bestimmt. Bei recht günstiger Witterung beträgt die in gerader Richtung gemessene Länge des positiven geschlängelten Funkens, welcher von der Kugel von 4″ 3‴ auf die große Auffangkugel von 8″ überschlägt, 18 pariser Zoll, seine Dicke die einer dünnen Schreibfeder, und aus den Seiten fahren in der Richtung nach der Auffangkugel an mehren Stellen Strahlen von ansehnlicher Länge. Bei noch größerer Entfernung der Auffangkugel verwandelt sich der Funken in den schönsten Feuerbüschel, der sich von einem dicken kurzen Stamme bis zu einer Breite von 14″ und einer Länge von 16″ ausbreitet. Wird die kleinere Kugel von 2″ im Durchmesser der großen Auffangkugel gegenüber gestellt, so erreicht der Funken höchstens eine Länge von 14 Zoll und verwandelt sich bei größerer Entfernung bereits in einen Feuerbüschel. Der Funken verursacht, wenn man mit den Füßen auf dem nach dem Erdboden ableitenden Drahte steht, eine Erschütterung, die derjenigen einer kleinen Kleistischen Flasche sehr nahe kommt, und durch eine Reihe von zwanzig und mehren Personen, die sich mit den Händen anfassen, sehr fühlbar ist. Der negative Funken ist ungeachtet der so vollkommenen Isolirung des Reibzeugs doch viel kürzer, und erreicht unter den günstigsten Umständen nur eine Länge von 6 bis 7 Zoll, ist nicht geschlängelt, hat aber gleichfalls seine größte Länge, wenn er von einer Kugel von 4 Zoll auf jene große Auffangkugel überschlägt. Pfaff macht darauf aufmerksam, wie dieser Umstand für die Realität der negativen Elektricität (also für das dualistische System, s. d. Art. Elektricität S. 123.) spreche. Denn sobald nur Eine (positive) Elektricität existirte, welche sich nach Franklin dem Elektricitätmangel habenden Körper mittheilte, so müßten,

Digitized by Google

wenn der größte posit. Funke von der vierzölligen zur achtzölligen Kugel überschlägt, der größte negat. Funke von der achtzölligen Kugel (am Conductor) zu einer auffangenden vierzölligen übergehen. Der negat. Funke ist, wenn auch minder lang, doch für das Gemeingefühl unangenehmer als der posit. Funke.

In jeder Art ausgezeichnet sind die Wirkungen der Pfisterschen Scheibenmaschine (s. oben S. 142.), Pfister gibt über dieselbe folgende Mittheilungen. Wenn die posit. Funken von einer dreizolligen Kugel in eine fünfzollige übergehen, beträgt ihre Länge 13 oft auch 14 Zoll*); die Funken, welche aus der großen Conductorkugel auf die auffangende Kugel von 5 Zoll Durchmesser gehen, sind 4 Zoll lang, und gleichen einem Lichtcylinder von mehr als $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke; sie verursachen beim Ueberspringen einen Knall, wie eine große sich selbst entladende Flasche. Die negativen Funken gehen von einer Kugel, die $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser hat, in die Conductorkugel aus einer Entfernung von 10 bis 11 Zoll über (sind also viel größer als bei der Pfaffschen Maschine). An einer sehr scharfen Nadelspitze sind die Funken $\frac{1}{4}$ Zoll lang. In einem großen Locale empfindet man die rückstrahlende Elektricität in einer Entfernung von 6 bis 8 Fuß. Durch den einfachen Funken wird ein ächtes Goldblatt von 10 Zoll Länge und $\frac{1}{4}$ Zoll Breite oxydirt, wenn es sich auf Papier zwischen zwei Spiegelplatten befindet. Eine Glastafel von 4 Linien Dicke wird von dem einfachen Funken durchbort. Wenn man im Dunkeln bei feuchter Luft die Maschine dreht, so strömen aus den Taffetflügeln auf den, welcher die Kurbel in Bewegung setzt, fortwährend Strahlenbüschel, wiewohl der Weg, den sie zu nehmen haben, zwei Fuß lang ist. Eine große Leidner Flasche, deren Belegung mehr als zwei Quadratfuß Oberfläche hat, wird durch drei Umdrehungen zur Selbstentladung gebracht. Ein großer Glassturz von 9 Zoll im Durchmesser und mit einer 2 Fuß hohen Belegung, der wie eine Lane'sche Elektrometerflasche eingerichtet ist, wird durch 14 Umdrehungen der Scheibe so stark geladen, daß bei seiner Entladung durch den elektrischen Strom ein 18 Zoll langer Eisendraht von N^{r} 12. geschmolzen wird; u. s. w.

Wie aus diesen Mittheilungen über die Wirksamkeit verschiedener Maschinen hervorgeht, sind die Scheibenmaschinen durchaus diejenigen, mit welchen die großartigsten Wirkungen hervorgebracht worden sind. Man war jedoch eine Zeitlang zweifelhaft, welche, ob die Cylinder- oder die Glasscheibenmaschinen den Vorzug verdienten, bis die für den Vorzug der Scheibenmaschinen entscheidenden Versuche von Cuthbertson und Singer bekannt wurden. Diese verglichen die Wirkungen einer Cylindermaschine mit denen einer Scheibenmaschine, indem sie alle Umstände, welche von Einfluß auf die Elektricitätserregung sein konnten,

*) Pfister macht die Bemerkung: Gewöhnlich berechnet man die Funkenlänge nach der kürzesten Linie, die man vom Reibzeuge nach dem Sauger (vom Conductor) ziehen kann; hier sind sie aber bedeutend länger, als diese Regel angibt, denn die genannte Linie beträgt nur etwa $10\frac{1}{2}$ bis 11 Zoll.

Digitized by Google

bei beiden Maschinen völlig gleichzustellen suchten. Beide Maschinen hatte derselbe Mechanicus gebaut. Die Cylindermaschine hatte einen Cylinder von 14 engl. Zoll Durchmesser mit Rolle, Rad und Schnur, wodurch die Geschwindigkeit, mit welcher die Kurbel umgedreht wurde, vervierfacht wurde. Die Scheibenmaschine hatte dagegen eine Scheibe von 24 englisch. Zollen Durchmesser und eine einfache Kurbel. An den Maschinen wurde so lange gebessert, bis das mittlere Resultat aus 100 vergleichenden Versuchen eine ganz gleiche Kraft beider Maschinen bei Hervorbringung elektrischer Ladungen zeigte. Eine fast gleiche Anzahl Umdrehungen der Kurbel an beiden Maschinen brachte gleich große Ladung hervor, und, was am überzeugendsten die gleiche Wirksamkeit beider Maschinen bezeugt, als beide Maschinen zur Ladung einer Batterie benutzt wurden, so leistete die Zahl der Umdrehungen beider Maschinen grade eben so viel als die doppelte Zahl der Umdrehung jeder Maschine, wenn sie einzeln zu Ladung der Batterie benutzt wurde, leistete. Bedenkt man, daß bei dieser Umdrehung der Kurbel der Cylinder vier Umdrehungen machte, wenn die Scheibe deren nur eine machte, so sieht man den Vorzug der Scheibenmaschine. Als Resultate ihrer Untersuchungen, deren weitere Beschreibung ich für überflüssig halte, sprechen die genannten Physiker folgendes aus:

Die Cylindermaschine hat folgende Vorzüge: 1, sie gibt die positive und negative Elektricität in gleicher Stärke; 2, sie bedarf nur Eines Reibzeuges; 3, sie ist in Folge ihrer Gestalt minder zerbrechlich, als die Scheibenmaschine; 4, sie kann vollkommen isolirt werden; 5, sie läßt vermöge ihrer Struktur den Gebrauch größerer Schnurräder zu, um die Geschwindigkeit zu vermehren und dadurch die Reibung sehr zu vermindern. Alle diese Vorzüge fallen aber nach der Vollkommenheit, in welcher in neurer Zeit Scheibenmaschinen erbaut worden sind, weg; etwa die eine ausgenommen, daß die Cylinder haltbarer als die Scheiben sind.

Die Vortheile der Scheibenmaschinen dagegen sind: 1, sie sind minder kostbar als die Cylindermaschinen von gleicher Wirkung; 2, sie nehmen weniger Raum ein; 3, sie lassen sich in viel größeren Dimensionen verfertigen; 4, es ist leichter mehre Scheiben als mehre Cylinder in einem Apparate zu vereinigen; 5, es läßt sich bei ihnen die Geschwindigkeit viel besser als bei den Cylindern vervielfachen, ohne daß die Bewegung zu schnell wird; 6, es lassen sich mit Scheiben von gleichem Durchmesser und aus einerlei Glasart gleiche und ähnliche Wirkungen erhalten, welches bei Cylindermaschinen sehr schwer ist.

Es sind nun noch einige Arten von Elektrisirmaschinen zu erwähnen, welche nicht zur Klasse der Glascylinder- und der Glasscheibenmaschinen gehören. Im Allgemeinen läßt sich von allen diesen sagen, daß sie den erwähnten theils an Wirksamkeit, theils an Zuverlässigkeit, theils an Bequemlichkeit nachstehen; doch haben sie ihre eigenthümlichen Vorzüge.

Von ausgezeichneter Wirksamkeit ist die von Wolfram construirte Glasglockenelektrisirmaschine. Fig. 21. stellt die ganze Maschine vor, Fig. 22 u. 23. die Reibzeuge und Fig. 24. den Aufsauger des

Digitized by Google

Conductors in etwas größerem Maßstabe. Wolfram selbst gibt davon folgende Beschreibung.

Das Gestell A (Fig. 21.) gleich einem Säulenfuße gestaltet ist ein hölzerner 36 Zoll hoher Kasten. Die Grundfläche desselben hat 23 Zoll, der horizontale Durchschnitt des Rumpfes 21 Zoll und die Deckplatte ab 24 Zoll ins Gevierte. Damit die Deckplatte sich von dem übrigen Theile des Gestelles leicht abnehmen und wieder daran befestigen lasse, wird sie bloß fest gehalten durch 4 im Innern des Gestelles befindliche und in Oesen der Platte eingreifende Haken, so wie durch 4 an ihrer unteren Seite befindliche und auf den Rumpf des Gestelles genau anschließende Leisten. Der Kasten steht durch das eigene Gewicht und das der von ihm getragenen Maschine fest. — Der Mechanismus zur Umdrehung der Glocke ist in dem Gestell an der unteren Fläche der Deckplatte angebracht, und besteht in einer Schraube ohne Ende, welche mittelst der Kurbel cd in Bewegung gesetzt wird. Das Stirnrad hat 21 und das Getriebe 8 Schraubengänge; die Glocke macht mithin mehr als drittehalb Umgänge, während die Kurbel einmal herumgeführt wird. Das Rad ist von Messing, das Getriebe von Stahl, und beide befinden sich in einem Gehäuse, welches aus 4 eisernen, fast $\frac{1}{8}$ Zoll dicken Platten besteht. Die untere dieser Platten ist 3 Zoll lang und 2 Zoll breit, die oberste aber einige Zoll länger und breiter als sie. Diese oberste Platte wird mit 4 Schraubenmuttern auf die beiden Seitenplatten befestigt, welche 3 Zoll breit und eben so hoch sind, und mit der Bodenplatte aus einem Stücke bestehen können. Damit man die ganze Vorrichtung an das obere Blatt ab des Gestelles gehörig befestigen könne, ist in dieses in der Mitte eine Metallplatte eingelassen, an welche das Gehäuse so sich anschrauben läßt, daß die 3 Zoll weit hervorragende, oben vierkantige Welle des Getriebes recht senkrecht steht. Jede der beiden Seitenplatten hat einen Einschnitt, 1 Zoll tief, $1\frac{1}{2}$ Zoll breit, in welchen $\frac{1}{2}$ Zoll dickes, vierkantiges, oben und unten mit einem Falz versehenes Stück Messing eingeschoben wird. Diese beiden in der Mitte durchbohrten Metallstücke sind die Futter für die Welle des Stirnrades. Um die Futter und mit denselben das Rad so nahe, als nöthig ist, an das Getriebe bringen zu können, ist an jedem Einschnitte ein messingenes Parallelepipedum vorgeschraubt, durch welche eine Schraube geht. Diese Einrichtung gewährt den Vortheil, daß man das Rad und Getriebe kann zusammenschmirgeln lassen, wodurch man die sanfteste und geräuschloseste Bewegung erhält. An der hinteren Seite des Gestelles muß die Welle des Rades ihrer Länge wegen noch eine besondere Unterlage erhalten*). — Die Glocke ist von weißem Glase und muß wenigstens

*) Wolfram bemerkt: Statt der Schraube ohne Ende könnte man die Bewegung der Glocke auch mittelst eines Schnurrades und eines an der Axe, welche die Glocke trägt, befindlichen Würtels hervorbringen, indem man die Schnur des außerhalb des Gestelles angebrachten Rades über 2 Rollen in horizontaler Richtung in das Innere leitete und um den Würtel herumführte.

Digitized by Google

so weit sie getrieben wird, möglichst cylindrisch und an ihrem gewölbten Theile mit einem Halse versehen sein. Bei Wolfram's Maschine ist die Glocke mit Einschluß des Halses 20″ und hat einen Durchmesser von 12 Zoll. Ihr Hals und ein Theil der Wölbung werden in eine wohl abgedrehte Haube eh von festem und gedörrtem Holz eingekittet, wobei man Sorge tragen muß, daß dieses so geschehe, daß die Glocke beim Umdrehen so wenig als möglich schwanke. Unten hat die Haube eine messingene Fassung fi, mittelst welcher die die Glocke auf den über das Gestell hervorragenden Theil der Axe des Getriebes aufgesetzt wird. — Das Reibzeug ist ähnlich dem an der van Marumschen Maschine, nur daß manches von festem und recht trockenem Holze ist, was van Marum von Metall machte. Die einzelnen Theile desselben sind: 1, zwei Bretchen 8 Zoll lang und 3 Zoll breit. Das eine dieser Bretchen k zeigt Fig. 22. nach seiner Länge und Breite. Die dem Glase zugekehrte Fläche jedes Bretchens geht mit dem Cylinder concentrisch; das eine ist daher in der Mitte seiner Breite dicker, das andere dünner als an den Seiten. Die Punkte an der Seite l stellen beinerne Knöpfchen von 2 Linien Durchmesser vor. Eine gleiche Anzahl befindet sich auch an dem anderen; auch trägt jedes an der Mitte seines obern Randes ein solches Knöpfchen. 2) zwei dünne Latten p, v (Fig. 23.) 8½ Zoll lang, 2 Zoll breit und 3 Linien dick. 3) ein Stück Holz qr (Fig. 23.) 3 Zoll hoch, von der Breite der Lättchen und übrigens so gestaltet, wie die Fig. zeigt. 4) ein Stäbchen st (Fig. 23.) bei s mit einem Knopfe, bei t mit einem Gewinde und einer Schraubenmutter versehen, alles vom festesten und trockensten Holze. Nah am Knopf ist dieses Stäbchen vierkantig, der übrige Theil ist abgedreht; die ganze Länge beträgt 4 Zoll. Fig. 23. zeigt wie diese Stücke zusammengesetzt sind. Die beiden Lättchen sind nämlich durch Charniere oben mit dem Stücke qr und unten mit dem Bretchen nu verbunden, welche für diesen Zweck um die Mitte ihrer Länge einen Ansatz haben. Das Stück qr ist von der vorderen nach der hinteren Seite durchbohrt, um den kleinen Stab st durchzulassen. Das Lättchen p hat zu gleichem Behuf eine viereckige, das Lättchen v eine runde Oeffnung. Noch gehören zum Reibzeuge 5) die beiden Polster xx (Fig. 23.). Sie bestehen aus mehren Lagen eines weichen wollenen Zeuges, und das ganze ist mit Seidenzeug überzogen. Jedes Polster wird an die vorhin gedachten Knöpfchen angehängt; eben so auch das mit dem Amalgam bestrichene Leder oder Seidenzeug. Die leitende Verbindung dieses mit dem Bretchen wird durch ein um das Polster gelegtes Blatt Staniol, und die jedes Bretchens mit dem Conductor durch einen Metalldraht bewirkt. Nur an dem Kissen des äußeren Reibers befindet sich der seidene Lappen L; an der innern Fläche hat ihn Wolfram überflüssig gefunden. — Zur Verbindung des Reibzeuges mit der Maschine dienen vier Stücke, welche insgesammt aus Messing gemacht sind. Nämlich 1) zwei horizontal liegende Röhrchen in dem für die negat. Elektr. bestimmten Conductor (Fig. 21.). 2) zwei mit Kugeln versehene Stäbe, welche in jenen Röhrchen leicht sich hin und her schieben lassen, ohne im mindesten zu schlottern (ein solcher

Digitized by Google

Stab ist y mit seiner Kugel z in Fig. 23.); 3) die beiden oben und unten mit Kugeln versehenen Stäbchen a,a (Fig. 22.), welche mit den Kugeln 4 Zoll lang sind; 4) endlich zwei Querstäbchen, von denen in Fig. 22. nur das eine bei b sichtbar ist, dessen Zapfen durch die Kugeln c, c hindurchgehen, und sich in den ungefähr bis zum Mittelpunkt ausgebohrten Kugeln d, d endigen, in welchen sie sich leicht umdrehen lassen. Das andere Querstäbchen ist durch das Stück q r (Fig. 23.) bei e gesteckt; seine aus demselben hervorragenden Zapfen gehen durch die Kugeln f, f (Fig. 22.) und haben, soweit sie aus diesen herausstehen, Gewinde, an welchen die kleineren Kügelchen g, g vorgeschraubt werden. Die Vortheile dieser Einrichtung des Reibzeuges sind, daß es durch den Umlauf der Glocke nicht aus seiner senkrechten Stellung gebracht wird; dabei doch den Schwankungen der Glocke nachgibt, ohne daß die Stärke des Reibens geändert wird; der Druck beliebig verstärkt werden kann u. s. w. — Die beiden Haupt-Leiter der Maschine sind hohle messingene Cylinder, 3 Zoll im Durchmesser und 16 Zoll lang. An ihren Enden haben sie vierzöllige Kugeln, mit welchen sie auf massiven überfirnißten und 27 Zoll hohen Glassäulen ruhen. Unten ist jede dieser Glassäulen in ein Fußgesims gekittet, welches sich an einem viereckigen, auf dem Deckblatte des Gestelles befestigten Untersatz aufschrauben läßt. Diese Fassung und der Untersatz können von Messing oder auch von Holz sein; im letzteren Falle müssen sie aber größer gemacht werden. Oben haben die Säulen keine Fassung, und die in den Kugeln befindlichen, unten offenen Röhren werden unmittelbar auf die angeschliffenen Zapfen der Glasstäbe gesetzt. Die unter der Kugel an jeder Säule befindliche Hülse ist von Holz. — Zur Aufnahme der Elektricität von der Glocke dient die Fig. 24. abgebildete Vorrichtung an dem vorderen Leiter. Es ist r eine messingene Röhre, 1 Zoll weit und $7\frac{1}{2}$ Zoll lang; die Kugeln k, l haben $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser. Von einer zur anderen ist ein Klavierdraht gespannt, welcher die Stelle der einsaugenden Spitzen vertritt, und vor diesen Vorzüge hat. Ueber der Kugel k befindet sich die engere $3\frac{1}{2}$ Zoll lange Röhre mit der durchbohrten Kugel m, welche sich längs des Stäbchens n, an dessen einem Ende die Kugel w befindlich ist, vorschieben und mittelst der Schraube o feststellen läßt. Quer durch die Mitte des Hauptleiters geht in horizontaler Richtung ein Röhrchen, welches zu beiden Seiten etwas hervorsteht; an der vorderen wird die Kugel I (Fig. 21.), mittelst welcher sich ein Quadranten-Elektrometer und manche zu den Versuchen nöthige Vorrichtung leicht an den Leiter befestigen läßt, vorgeschraubt; an der hinteren, d. h. der der Glocke zugewendeten Seite aber hat das Röhrchen einen wohl abgerundeten Ring mit einer Schraube, mittelst welcher das in das Röhrchen passende Stäbchen n, nachdem man es so weit hineingeschoben, daß der Klavierdraht von der umlaufenden Glocke nicht mehr berührt wird, festgehalten werden kann. Man kann sich auch eines doppelten Einsaugers bedienen, wo dann eine der Röhre kl (Fig. 24.) parallele und gleichgestaltete Röhre, welche von der etwas weiter abgerückten Kugel w getragen wird, und die gleichfalls mit einem Klavierdraht, aber nach innen bewaffnet ist, in das Innere der Glocke reicht.

Digitized by Google

Doch fand Wolfram, daß die Maschine gleich wirksam war, der Einsauger mochte an der äußeren oder an der inneren oder an beiden Seiten der Glocke angebracht sein. Wolfram hat bei seiner Maschine noch einen Funkenmesser angebracht. Gerade unter der Kugel l (Fig. 21.) ist in dem Deckblatte des Gestelles ein mit einer Feder versehenes Röhrchen eingelassen, in welchem sich der Stab m mit der Kugel n verschieben läßt. Das unterste Ende des Stabes darf nicht zugespitzt sein; am besten ist es an dasselbe eine Kugel anzuschrauben, nachdem man den Stab durch die Röhre gesteckt hat. Diese Vorrichtung dient als Funkenmesser, denn aus der Kugel l erhält man die längsten Funken. Es ist nur Sorge zu tragen, daß die Elektricität von dem Stäbchen m auf irgend einem Wege entweder zu dem Reibzeuge oder zu dem Fußboden geleitet werde.

Die Wirkungen dieser Maschine sind denen der besten Cylindermaschinen gleich. Wolfram berichtet: aus der Kugel l führen unter günstigen Umständen zur Kugel n 10 Zoll lange Funken, welche im Finstern dem Ansehn nach die Dicke eines Strohhalmes haben. Sie folgen sich ziemlich schnell; 7 bis 8 Zoll lange schneller als man zählen kann. Entfernt man den Funkenmesser; so zeigt sich im Dunkeln ein Lichtbüschel von gewöhnlich 6 bis 7 Zoll Länge, der sich unter einem Winkel von 60° bis 70° nach allen Seiten ausbreitet. Unten neigt er sich mehr nach der Fassung der Glocke hin und wird hier 8 Zoll lang. Wenn die Maschine am besten wirkt, kann eine Flasche von 1 Quadratfuß äußerer Belegung bei 8maligem Umdrehen der Kurbel, (also etwa 21maligem der Glocke) bis zum Ueberschlagen geladen werden. Die Maschine läßt indeß, namentlich was vollkommene Isolirung der einzelnen Theile betrifft, noch vieles zu wünschen übrig, und ihre Wirksamkeit ließe sich daher wahrscheinlich noch bedeutend erhöhen. Durch die doppelte Reibung der innern und äußeren Glasfläche scheint sie jedenfalls den Cylindermaschinen vorzuziehen zu sein, den Scheibenmaschinen aber schon wegen der bei weitem zusammengesetzteren Construction, wohl auch Zerbrechlichkeit, und stets mehr oder weniger unsicheren Bewegung der Glocke weit nachzustehen.

Bei allen bis jetzt erwähnten Maschinen war der geriebene Körper Glas, es liegt in der Natur der Sache, daß man sich statt des Glases jedes anderen stark elektrischen Körpers, der kein guter Leiter ist, bedienen kann. Ich übergehe eine Menge von Maschinen, die gemacht worden sind, indem man an die Stelle des Glases einen anderen Körper gesetzt hat (z. B. von van Marum mit einer Scheibe von Gummilack, welche umgedreht wurde und zum Theil in ein Gefäß mit Queckſilber reichte, so daß sie an diesem sich rieb; von Pickel der Scheiben aus getrocknetem Holze anwandte; von Kohlreif, der trocknes Holz an Katzenfell rieb; von Ingenhouß, der Pappscheiben, die mit Copal- oder Bernsteinfirniß getränkt waren, und an Hasenbalg sich rieben; von Volta, der nur trockene Pappscheiben anwandte); und führe nur noch einige Maschinen an, bei denen ein Zeug der geriebene Körper war, und die besonders durch Wohlfeilheit, so wie die von Walkiers de St. Amand durch Größe des negat. Funkens sich aus-

Digitized by Google

zeichnen. Lichtenberg gibt folgende Beschreibung einer von ihm erfundenen Maschine.

Das vorzüglichste Stück dieser Maschine, wodurch sie sich allein von anderen unterscheidet, ist die mit schwarzem glatten wollenen Zeuge überspannte Trommel*) aaaa Fig. 25., deren Gerippe Fig. 26. vorstellt. Die an beiden Enden des Gerippes befindlichen hölzernen Scheiben m, m sind an den inneren Seiten mit Streben n versehen, damit sie sich nicht einwärts beugen und der Spannung des Zeuges nachtheilig werden können. Die beiden Axen der Trommel (Fig. 25.) bb gehen, wenn das Gestell aus einander genommen werden kann, durch dessen Seite durch. Ist das Gestell fest zusammengefügt, so kann sich die Trommel auch hinter vorgeschraubten eisernen Platten bewegen. Der Reiber d, d ist ein mit langhaarigem Katzenfell überzogenes Kissen, das an eine starke Glasröhre, oder in deren Ermangelung an einem Stabe von gebackenem und mit Firniß überzogenem Holze befestigt ist. Die Röhre oder der Stab geht durch den oberen Theil des Gestelles durch, wo eine Schraube f befindlich ist, sie in der gehörigen Stellung festzuhalten. Von dem Kissen geht mitten durch die Röhre oder den Stab ein starker metallener Draht bis zu der oben befindlichen metallenen Kugel g. Diese Zurichtung dient dazu, das Kissen zu isoliren und dadurch die entgegengesetzte Elektricität zu erhalten. Findet man diese Zurichtung überflüssig, so kann sie auch wegbleiben, und die Maschine wird dadurch um so einfacher. An der vorderen Seite des Kissens gegen den Zubringer (Auffauger am Conductor) hin, ist ein Streif Wachstaffet h befestigt, der über einen Theil der Trommel hinreicht, um das Ausströmen der elektrischen Materie nach den entgegengesetzt elektrischen Theilen der Trommel zu verhindern. In einiger Entfernung unter der Trommel ist auf dem Gestelle ein Bretchen befestigt, auf welches ein Kohlenbecken i gestellt werden kann, um der Trommel im Sommer die nöthige Wärme und Trockenheit zu geben. Die Kohlen müssen mit Asche bedeckt sein, oder man kann ein eisernes Blech über das Kohlenbecken legen, damit die Trommel durch die starke Hitze keinen Schaden leide. Im Winter genügt, um die stärkste Wirkung zu erhalten, die Maschine in die Nähe eines geheizten Ofens oder Kamines zu bringen. Der Zweck der Ketten k und l ist bekannt. Lichtenberg sagt, die Wirkung dieser Maschine übertreffe die Wirkung der gewöhnlichen Maschinen sehr weit, und diese Wirkung sei bei allen Veränderungen der Witterung gleich, sobald die Trommel gehörig erwärmt wird. Sie hat überdieß die Vorzüge, daß sie bei weitem leichter und mit weniger Kosten als die Glasmaschinen herzustellen, auch weniger zerbrechlich ist. Die von Lichtenberg ausgeführte Maschine hatte eine Trommel von 3 Schuh Länge und 21 Zoll Durchmesser. Der metallene Conductor,

*) Lichtenberg bemerkt: die Trommel kann auch mit seidenem Zeuge, Glanzleinwand oder mit Papier überspannt werden. Ueberspannt man sie mit einem Zeuge oder Leinwand, so ist nöthig, die Dinge bloß mit Stiften zu befestigen, damit man sie nöthigenfalles wieder von neuem anspannen kann.

Digitized by Google

welchen Fig. 27. vorstellt, hatte 6 Fuß Höhe und 16 Zoll Durchmesser; er steht auf einer starken gläsernen Röhre p und hat einen Zuleiter (Auffauger) o.

Von Walkiers de St. Amand's Maschine gibt ebenfalls Lichtenberg Nachricht.

Sie besteht aus zwei sehr starken Gestellen, die aufrecht und in einer Entfernung von 7 bis 8 Fuß einander gegenüberstehen. Jedes von diesen Gestellen trägt einen großen hölzernen Cylinder von 2 Fuß im Durchmesser und 6 Fuß Länge. Die Zapfen dieser Cylinder laufen in Pfannen, welche sich in den Seitenschenkeln der Gestelle befinden, das Ende eines jeden ist mit einer Kurbel von 8 bis 10 Zoll im Radius versehen, wodurch die Cylinder um ihre Axe bewegt werden können. Ueber die beiden Cylinder selbst ist ein gefirnißter Taffet, der an beiden Enden zusammen genähet ist, gezogen und mäßig gespannt. Auf die Art hat die Maschine beinahe das Ansehen eines Seidenwebestuhles oder auch einer Garnwinde, wo die Stränge über ein Paar trillingförmige Walzen ausgespannt sind, nur daß hier die Fläche der Stränge vertical ist, da dort der Taffet horizontal liegt. Die beiden Flächen haben zwischen sich einen leeren Raum, dessen Dicke mit dem Durchmesser der Cylinder einerlei ist. Wenn man also die Cylinder mit den Kurbeln dreht, so wird der Taffet über alle Punkte der Cylinder wegbewegt, und vertritt die Stelle der sonst gewöhnlichen Glas- oder Harzscheiben u. s. w. Die Länge dieses Taffet beträgt 25 Fuß, wenn er aber zusammen genäht und über die Cylinder gezogen ist, so nimmt er nur etwa $12\frac{1}{2}$ Fuß Raum ein. Die Breite desselben ist 5 Fuß. Die zum Reibzeug bestimmten Kissen bestehen aus 7 Fuß langen und 2 Zoll im Durchmesser betragenden Cylindern, die mit Katzenfell überzogen sind und durch Schrauben dem Taffet so nahe, als es nöthig ist, gebracht werden können. Auf diese Art berühren sie denselben immer nur in einer ganz schmalen Linie, wodurch die Friction vermindert und die Gleichförmigkeit im Reiben befördert wird. Die Kissen sprühen auch keine Feuerbüschel von sich. Mitten in dem oben erwähnten Zwischenraume befindet sich der Conductor, der ungefähr 6 bis 7 Zoll im Durchmesser und eine solche Länge hat, daß er um ein beträchtliches über die Ränder des Taffets auf beiden Seiten hervorstehet. Er hängt in seidenen Schnüren, die mittelst gewisser Wirbel am Gestelle befestigt sind. Die Stellen, welche sich zwischen den Flächen des Taffet befinden, sind mit Stacheln besetzt, um die Elektricität desto leichter anzunehmen. Nach dieser Einrichtung wird die ursprünglich erregte Elektricität nicht von den fremden benachbarten Körpern geraubt, sondern fast gänzlich vom Conductor angenommen. Um die beiden einander entgegenstehenden Gestelle immer in einer solchen Entfernung zu halten, daß der Taffet in der erforderlichen Spannung bleibt, sind an ihren Füßen besondere Keile angebracht, welche die verlangte Stellung bewirken. Den Arbeitern wird das Drehen der Cylinder durch vier besondere zum Auftritt bestimmte Schemel, die unter der Kurbel am Fußgestelle befestigt sind, erleichtert; auf diese Art steht auch die Maschine desto fester, da die Arbeiter mit dem ganzen Gewichte ihres Körpers darauf

Digitized by Google

ruhen. — Die Maschine gibt, wie aus ihrer Einrichtung hervorgeht, die negative Elektricität; durch Isolirung des Reibzeuges kann man aber auch die positive so gut bei ihr, wie bei jeder anderen Maschine erhalten. Die Versuche, welche Commissarien der Pariser Akademie mit dieser Maschine (noch dazu zu einer Zeit, die zum Elektrisiren nicht die vortheilhafteste war) anstellten, gaben überraschende Resultate. Es ließen sich mittelst einer beträchtlichen Kugel Funken von 15 bis 17 Zoll ausziehen, die längsten negat. Funken, welche noch aus einer Elektrisirmaschine erhalten worden. Als die Commissarien eine große Leidner Flasche laden wollten, wurde sie gleich in den ersten Augenblicken von der Gewalt der Elektricität zerschmettert. Auch spitze Körper zogen Funken aus.

Eine der eben beschriebenen ähnliche Maschine ist die von Rouland verfertigte und beschriebene, welche Fig. 28. anschaulich macht. In den Ständern CDEF, auf einem Fußgestelle senkrecht aufgerichtet, sind zu oberst Löcher geschnitten, welche die Pfannen für die nicht völlig einen Zoll dicken buchsbaumenen Achsen zweier leichter, von Bretern zusammengeleimter, und mit Serge überzogener Cylinder enthalten. Diese sind 27 Zoll lang, haben 8 Zoll im Durchmesser, und ihre beiden Endplatten ragen einen halben Zoll über sie hervor. Nur eine der Achsen ist mit einer 6 Zoll langen messingenen Kurbel versehen. Der gefirnißte Taffet KNL (von der Art, deren man sich zu Luftballons bedient) geht um beide Cylinder, ist an den Enden zusammengenäht und läßt sich durch Zurückschieben des einen Cylinders und seines Gestelles so straff anziehen, daß beide Cylinder umlaufen, wenn der eine vermittelst der Kurbel gedreht wird. Die Länge des Seidenzeuges beträgt 11 Fuß oder 132 Zoll, die Breite 26 Zoll, also einen Zoll weniger als die Länge der hölzernen Cylinder. Die Reiber sind wie an der Walkier'schen Maschine durch seidene Bänder an die Ränder der Cylinder befestigt und durch Ketten v,v mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt. Zwei Stücke gefirnißten Wachstaffets p,q gehen von den Reibzeugen bis zum Leiter nach Art des Wachstaffets bei den Glasmaschinen. Der erste Leiter S besteht aus Messingblech von gewöhnlicher cylindrischer Form, ist 3 Zoll dick und 36 Zoll lang, schwebt an seidenen Schnüren, welche an den Rändern der Cylinder befestigt sind, zwischen den beiden Ebenen des Taffets, und hat oben und unten nach seiner ganzen Länge ein senkrecht stehendes Blech y,y, welches als Einsauger dient, und nur $\frac{1}{2}$ Zoll vom Seidenzeuge entfernt bleibt.

Die wohlfeilste Elektrisirmaschine, deren Construction zugleich äußerst einfach ist, ist die von Mund, wie folgt, beschriebene. Sie kostet nach des Erfinders Angabe kaum 4 Rthlr. Fig. 29. stellt die ganze Maschine vor. Das Reibzeug A besteht aus zwei Bretern, 3 Zoll breit, $\frac{1}{4}$ Zoll dick und 3 Fuß lang, überall glatt abgerundet, auf beiden Seiten mit Stanniol und auf der innern Seite mit Kaninchenfell oder noch besser mit schwarzem Katzenbalg überzogen. Durch die Schrauben h,g von trocknem Holze und mit Wachs polirt können sie näher zusammengebracht werden. F. 30. stellt das Reibzeug abgeson-

Digitized by Google

dert und Fig. 31. eine Platte davon dar. Bei a,b und so auch auf der unteren Kante sieht man Schnüre ad, bf, oben mit Ringen d, f. Sie sind 5 Zoll lang, fast so dick wie ein Federkiel, von Seide und mit hölzernen Nägeln in den Löchern bei a,b Fig. 30. befestigt. Fig. 32. ist eine von den Schrauben h, g. — Die Zuleiter DBC bestehen aus zwei starken eisernen Drähten, sind um die hölzernen Kugeln B, C befestigt, und können an ihren Enden bei D zusammengehakt werden. Fig. 33. zeigt wie der Draht gebogen ist. Von den hölzernen Kugeln B, C ist eine in Fig. 34. von 2 Seiten vorgestellt. In der Rinne b werden die Ringe d, e befestigt; vermittelst der Bogen l, m lassen sich die parallelen Stücke i, k bequem näher zusammen und weiter von einander bringen, dn ist $1\frac{1}{2}$ Fuß lang. — Der elektrische Körper EFGH ist schwarzes glattes wollenes Zeug, 5 Fuß lang. Die Enden sind an $\frac{1}{2}$ Zoll dicken Stäben EF, HG befestigt. — Die Haupttheile werden auf folgende Art verbunden. Am Balken der Stube IK ruht auf zwei Wandhaken a, b ein hölzerner Stab LM; a, b greifen in Einschnitte, damit der Stab sich nicht verschieben könne; c, c sind eiserne Haken und von einander soweit entfernt, als die Löcher a, b Fig. 30. im Reibzeuge. Auf dem Fußboden, gerade unter LM und damit parallel liegt ein ähnlicher Stab NO, der mit gleichen Haken d, d versehen ist, und durch zwei Holzschrauben c, c in den Dielen befestigt werden kann. An den Haken c, c, d, d sind die Zuleiter und das Reibzeug befestigt, vermittelst starker Schnüre von Wolle oder Hanf, die man mit Oel oder noch besser in Wachs gekocht hat. Die Schnur dB wird durch das Loch (c Fig. 34.) der Kugel B gezogen und in die Ringe der seidenen Schnüre k, k (ad, bf Fig. 31.) geknüpft. Eben das geschieht mit den Schnüren dC, cB, cC. Sie werden angezogen, und wenn das Reibzeug A horizontal und gleichweit von LM und NO hängt, bei c, d festgebunden. Die Zuleiter werden mit ihren Enden BD verbunden und durch abgerundete Korkpfropfen, die man neben den Schnüren in den mittlern Löchern der Kugeln B, C steckt, 4 bis 5 Zoll vom Reibzeuge befestigt. Darauf wird der Stab EF mit dem Zeuge zwischen den Drähten des unteren Zuleiters, den Platten des Reibzeuges und den Drähten des oberen Zuleiters hindurch gezogen. Bei E, F befestigt man zwei wollene Schnüre, führt die eine über die Rolle l in LM, durch die Zuleiter und das Reibzeug über die Rolle n nach H hin; die andere über die Rolle m, ebenfalls durch die Zuleiter und das Reibzeug über die Rolle o nach G hin; zieht sie beide an und knüpft sie an H, G. Dadurch wird das Zeug gespannt und läßt sich leicht auf und nieder ziehen, ohne seine Richtung zu ändern. Um das Auf- und Niederziehen bequemer und gewisser zu machen ist bei p und q an EF die Schnur prq und in der Mitte derselben von E und F gleichweit entfernt eine andere gebunden: eben so an HG. Jene ist über die Rolle s, diese über die Rolle t geführt und beide sind in u an einen Handgriff geknüpft. Diesen Handgriff kann man leicht mit einer Hand auf und niederziehen und eben dadurch wird das Zeug EFGH am Katzenfelle des Reibzeuges auf beiden Seiten hin und hergerieben. Die Rollen bei s und t können sich rechts

Digitized by Google

und links umdrehen, so daß ihre Flächen die Fläche des Zeuges EFGH unter allen möglichen Winkeln schneiden können, damit man beim Zuge seine Stelle ändern kann. — Bringt man nun die Platten des Reibzeuges vermittelst der Schrauben h, g gehörig an einander, hängt an D eine Kette, bringt dadurch die Zuleiter mit der Erde in Verbindung, und zieht u auf und nieder, so kann man aus dem Reibzeug unmittelbar 3 Zoll lange Funken ziehen, die sehr schnell auf einander folgen. Noch länger werden die Funken, wenn man mit der einen Hand die Zuleiter in BDB anfaßt und mit der andern sich dem Reibzeuge nähert. Das Reibzeug A thut zugleich die Dienste eines Conductors; man kann indeß an w eine Kette hängen, dadurch einen andern isolirten Conductor mit dem Reibzeuge verbinden und dadurch eine stärkere positive Elektricität hervorbringen. Soll der Conductor negative Elektricität erhalten, so verbindet man ihn mit D und bringt nun das Reibzeug A mit der Erde in Verbindung. — Die Schnüre bei c, c, d, d, auch bei E, H, F, G, können kürzer und länger gebunden und folglich kann die Maschine in jeder Stube, wo sich nur LM und NO befestigen läßt, angebracht werden. Hat man sie genug gebraucht, so hakt man die Zuleiter bei D auseinander, schraubt NO los und rollt sie um NO auf.

Der Uebelstand, welchen alle Elektrisirmaschinen haben, in vorzüglichen Grade aber die Zeugmaschinen, ist, daß sie bei feuchter Witterung ihre Wirksamkeit mehr und mehr verlieren, wogegen man sich bei den Zeugmaschinen allerdings dadurch helfen kann, daß man sie erwärmt. Der Grund der Schwächung der electrischen Wirksamkeit liegt aber nicht sowohl darin, daß feuchte Körper minder geschickt sind, bei gegenseitiger Reibung an einander Elektricität zu erregen, sondern darin, daß die feuchte Luft die Elektricität so wie sie erregt wird schnell wieder ableitet, daher ist auch eine Vertreibung der Wassertheile aus der eine Elektrisirmaschine umgebenden Luft allein im Stand die Kraft derselben zu erhöhen, nicht aber eine Erwärmung oder Abtrocknung bloß der reibenden Körper. Munck af Rosenschöld hat hierüber in neuester Zeit eine Reihe von Versuchen mittelst einer nach Art der von Walkiers de St. Amand construirten Maschine angestellt.

Elektromagnetismus bezeichnet die Gesammtheit aller derjenigen magnetischen Erscheinungen, welche durch Elektricität hervorgebracht werden. Gleich bedeutende Ausdrücke sind Elektrodynamismus (v. d. Griech. δύναμις Kraft), chemischer Magnetismus, Voltascher Magnetismus, Galvanomagnetismus. Der Grund zu diesen letzteren unvollkommenen Bezeichnungsarten liegt darin, daß man meist und anfangs ausschließlich des elektrischen Stromes, der durch einen galvanischen Apparat erzeugt wird, sich bediente, um magnetische Erscheinungen durch Elektricität hervorzubringen.

Die Verwandtschaft der Elektricität mit dem Magnetismus ist, seit man das Wesen beider genauer erkannt hat, ein Gegenstand der Untersuchungen der Physiker gewesen. Zu der Annahme einer derartigen Verwandtschaft führte die Analogie der elektrischen Erscheinungen

Digitized by Google

mit den magnetischen: Polarität, Anziehung und Abstoßung u. a. Besonders mußten auch ältere Erfahrungen den Gedanken an die Verwandtschaft der Elektricität und des Magnetismus bestätigen, namentlich die, daß der Blitz magnetisirende Eigenschaften besitze. Schweigger hat mehre Beispiele angeführt, wo der Blitz in Schiffe eingeschlagen hatte, wovon die Folge war, daß die auf denselben befindlichen Compaßnadeln (nach denen die Schiffe gesteuert werden) ihre Polarität umgekehrt hatten, so daß der Nordpol zum Südpol und dieser zu jenem wurde. Es kam darauf an durch Versuche eine Wechselwirkung beider, der Elektricität und des Magnetismus auf einander, wo möglich, eine Erzeugung des einen aus dem anderen darzuthun.

Nachdem schon früher Romanesi erkannt hatte, daß der Galvanismus eine Magnetnadel abweichen mache, seine Beobachtung aber in dieser ihrer Unbestimmtheit weder andere Physiker noch ihn selbst zu weiteren Versuchen veranlaßt hatte; machte zuerst Oersted im Jahre 1820 eine Abhandlung bekannt, welche die Veranlassung zu denjenigen Betrachtungen über die durch Elektricität hervorgerufenen Erscheinungen wurden, welche jetzt als einer der interessantesten und am lebendigsten von den größten Physikern neuer Zeit bearbeiteten Theilen der Physik unter dem Namen Elektromagnetismus zusammengefaßt werden. Oersted hatte bemerkt, daß ein feiner Platindraht, welcher die Pole einer Voltaschen Säule verband, und über eine Magnetnadel hinging, diese zu eigenthümlichen Schwankungen veranlaßte. Er untersuchte nun genauer den Einfluß, den ein solcher Draht, durch den ein elektrischer Strom fortgeleitet wurde, auf die Magnetnadel ausübte. Die größten Fortschritte aber und Erweiterungen verdankte die Lehre vom Elektromagnetismus nicht allein, sondern mittelbar die ganze Physik, namentlich die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus in ihrem weitesten Umfange, der geistreichen Auffassung der Oerstedschen Erfahrung von Ampère und Schweigger, womit Entdeckung neuer sich an jene anreihende aber fast noch wichtigerer Phänomene verknüpft war. Ampère stellte eine allseitig durch die interessantesten Versuche unterstützte Theorie auf, nach welcher der Magnetismus auf elektrische Ströme zurückgeführt wurde, und wodurch wenigstens alle die verschiedenen elektromagnetischen Erscheinungen zu einem Ganzen verknüpft und übersichtlich gemacht wurden. Schweigger hat sich um die ganze Physik besonders durch die Entdeckung des Multiplicators verdient gemacht, der ein naheliegendes Resultat seiner elektromagnetischen Versuche war, außerdem aber durch Angabe der einfachsten Apparate, um die bewundrungswürdigen Erscheinungen des Elektromagnetismus mit Leichtigkeit darzustellen*).

*) Die bei weitem höheren Verdienste dieses um die Wissenschaft hochverdienten Mannes bestehen indeß nicht in diesen Erfindungen, obschon sie unter den Physikern am meisten zu Verbreitung seines Ruhmes beigetragen haben. Schweigger hat mit der nur dem Genie eigenen Umsicht und Kühnheit die wichtigsten Interessen des menschlichen Geistes durch seine Gelehrsamkeit gefördert, indem er (namentlich auch in Bezug auf Elektromag-

Der Eifer, mit dem fast alle neueren Physiker mit dem Elektromagnetismus sich beschäftigt haben, macht es bei der Darlegung der Resultate unmöglich, alle die verschiedenen Experimente, welche ausgeführt worden, zu berücksichtigen, daher ich nur die wichtigsten und lehrreichsten anführen werde, um so mehr, da eine ins Leben eingreifende Anwendung der elektromagnetischen Erscheinungen bis jetzt nicht gemacht worden, obschon sie gewiß dereinst auch noch gemacht werden wird.

Zur Anstellung der meisten elektromagnetischen Versuche muß man sich eines elektromotorischen Apparates bedienen. Oersted bediente sich anfangs einer sehr starken aus einer großen Anzahl von Plattenpaaren zusammengesetzten Voltaischen Säule, die Erfahrung hat aber gelehrt, daß die elektromagnetische Wirksamkeit nicht sowohl mit der Menge der Plattenpaare zunehme, sondern daß dieselbe vielmehr mit der Größe der Oberflächen der angewendeten Platten zunimmt*). Kleine vielplattige Säulen zeigen gar keine oder nur geringe Wirksamkeit, wogegen ein einziges, aber großes Plattenpaar die größten elektromagnetischen Wirkungen hervorbringt. Nur in den Fällen, wo der elektrische Strom durch größere Strecken von nicht metallischen Flüssigkeiten geleitet werden soll, ist ein Apparat von großen und vielen Platten anzuwenden.

Die elektromotorischen Apparate sind um so wirksamer, je inniger die Platten mit der Flüssigkeit in Berührung kommen (daher die Beschmutzung der Platten möglichst vermieden werden muß), je geringer der Abstand der heterogenen Platten von einander ist, ohne daß Be-

---

netismus) nachgewiesen hat, wie den mythischen Religionen des Alterthums eine tiefe Naturweisheit zu Grunde liege, welche mit bewundrungswürdiger Evidenz in den Bildwerken dieses Alterthumes ausgedrückt ist, so daß diese in einer physikalischen Zeichensprache die neuesten Entdeckungen moderner Gelehrsamkeit aussprechen. Es ist hier nicht der Ort, diese ächt wissenschaftlichen Leistungen näher zu würdigen, und ich mache in Bezug auf dieselben nur auf Schweigger's neuestes noch unter der Presse befindliches Werk: „Zur Naturwissenschaft der alten und neuen Zeit" aufmerksam mit der Bemerkung, daß, wenn Physiker, Alterthumsforscher, Philologen, ja selbst Philosophen Schweigger's Entdeckungen noch bei weitem nicht in dem Grade, in welchem sie es verdienen, gewürdigt haben, der Grund in einseitiger Gelehrsamkeit und darin liege, daß freilich eine derartige wissenschaftliche Auffassung dem gewöhnlich sogenannten wissenschaftlichen, aber nur in die Unendlichkeit des Zufälligen und der Erscheinungen versenkten Treiben so fern liegt, wie die Pläne und Entwürfe eines wahren Künstlers der Tagearbeit des Handwerkers.

*) Ein Wollaston'scher Trogapparat von 120 Plattenpaaren, dessen Zink eine Oberfläche von 11 Quadrat Fuß darbot, und welcher die Kohle mit großem Glanze verbrannte, wirkte nach van Beck's Versuchen nicht so stark auf die Magnetnadel, als ein einziges solches Plattenpaar, dessen Zink etwa 3, 5 Q. F. Oberfläche hatte.

Digitized by Google

rührung stattfindet; endlich muß die Kupferfläche größer als die Zinkfläche sein. Ein solcher Apparat kann in einem kupfernen Kasten bestehen, etwa von 6 Zoll Länge, 5 Zoll Höhe und 1 Zoll Breite, der wenn man sich als leitender Flüssigkeit der Salmiaklösung bedient, hart gelöthet sein muß, bei einer andern Leitungsflüssigkeit aber mit dem Schnellothe der Klempner gelöthet sein kann. In diesen Kasten wird die Leitungsflüssigkeit gegossen und in ihn die etwas kürzere Zinkplatte so eingesenkt, daß sie nach keiner Seite hin das Kupfer berührt. Zu dem Ende kann man sie mit zwei metallenen Haken versehen und mittelst derselben an eine Glasröhre aufhängen, an welcher sie nach Belieben herausgenommen und eingesenkt wird. Zur metallischen Verbindung des Zinks mit dem Kupfer sind an beiden Drähte angelöthet. Zu größrer Bequemlichkeit können zu beiden Seiten des kupfernen Kastens gabelförmige Träger angebracht sein, auf welche die Zinkplatte mittelst der Glasröhre aufgehängt wird, so oft man sie aus der Säure herausnimmt, wo dann die Flüssigkeit von der Zinkplatte in den kupfernen Kasten zurücktropft.

Will man sich eines größern Apparates bedienen, so kann man mehre solcher Gefäße an einander setzen und unter einander verbinden und zwar dieß auf zweifache Weise. Sollen sie nämlich zusammen wie ein einziges Plattenpaar mit größerer Oberfläche wirken, so verbindet man das Kupfer aller Kasten unter sich metallisch und eben so werden auch die Zinkplatten unter einander metallisch verbunden; dann erhält man zwei Systeme, das eine von Kupfer, das andre von Zink, welche außerhalb der Flüssigkeit metallisch (durch Drähte) verbunden werden, wodurch der elektrische Kreis geschlossen wird. Will man, daß sämmtliche Gefäße als eine Säule von mehren Plattenpaaren wirken sollen, so muß man das Kupfer jedes Kastens metallisch mit der Zinkplatte des nächsten Kastens verbinden und dann den Kreis schließen durch eine metallische Verbindung des letzten Kupferkastens mit der ersten Zinkplatte. Im ersten Falle können sämmtliche Kupferkasten durch eine unter alle gelegte metallene Platte verbunden werden; sonst geschieht die metallische Verbindung in der Regel durch angelöthete Drähte oder Streifen von beliebigem Metalle. So wie die Zinkplatten, welche untereinander in metallischer Verbindung stehen, aus dem Kupferkasten herausgehoben werden, ist die galvanische Kette geöffnet, sobald die Zinkplatten eingesenkt sind, geschlossen.

Als den einfachsten Apparat, dessen man sich zu Hervorbringung einer großen Zahl elektromagnetischer Erscheinungen bedienen kann, gibt Muncke einen Apparat an, welcher aus zwei gleichgroßen Platten die eine von Zink, die andre von Kupfer besteht, deren jede mit einem angelötheten Messingdrahte von mehren Fußen Länge versehen ist. Man legt die eine Scheibe flach auf eine Glasscheibe oder eine andre isolirende Unterlage, bedeckt sie mit einer mit der leitenden Flüssigkeit stark getränkten Tuchscheibe und legt die andre Platte darauf. Nach Erfordern wird dann durch einen oder durch beide Drähte die Verbindung zwischen beiden Platten hergestellt. Man erhält einen ganz vorzüglich starken Apparat, wenn man sich großer Platten von Einem bis 4 und

Digitized by Google

9 Quadratfuß Flächeninhalt bedient, die Tuchscheibe etwas stark benetzt und die obere Platte mit verhältnißmäßig vielen Gewichten belastet. Die Metalle bedürfen nicht länger als unumgänglich zur Herstellung der Versuche nothwendig, in Conflict gelassen werden, weil sie sonst, wenigstens das Zink, stark angegriffen werden.

Ein andrer großer, leicht zu handhabender, für jede Art von Flüssigkeit geeigneter, leicht aufzubewahrender Apparat ist folgender ebenfalls von Muncke beschriebener. Man nimmt eine große Kupferplatte, welche von 1 bis 9 Quadratfuß Fläche und noch darüber leicht zu erhalten ist, läßt diese spannen und ihren Rand nach Verhältniß ihrer Größe $\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll aufbiegen, legt sie auf einen hölzernen Rahmen oder eine Tischplatte horizontal, in dieselbe eine erforderliche Anzahl Glasstücke und auf diese die Zinkplatte gleichfalls horizontal, gießt dann die Flüssigkeit hinein und schließt die Kette durch die beiden Leitungsdrähte. Ist der Apparat sehr groß, so muß die Zinkplatte durch das Aufbiegen ihres Randes von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll gesteift und mit zwei Handhaben versehen sein, um sie bequem aufheben und niederlegen zu können.

Die elektromotorischen Apparate sind noch mannigfach abgeändert worden. Ich theile, da jeder Apparat mit großen Platten, welcher nicht völlig unzweckmäßig eingerichtet ist, so daß etwa die Platten untereinander sich berührten, nur noch denjenigen mit, den Pohl unter dem Namen Siderophor beschrieben hat (v. d. gr. σίδηρος Eisen u. φέρω tragen), weil derselbe einige besondere Vortheile darbietet.

Pohl gibt im Allgemeinen folgende Erfordernisse an, welche ein zu elektromagnetischen Versuchen tauglicher elektromotorischer Apparat haben müsse. 1, nach Beendigung jedes einzelnen Versuches und während der Vorbereitung eines neuen muß das Zink mit Leichtigkeit der Flüssigkeit des Troges entzogen und beim Beginnen des folgenden Versuches eben so schnell wieder in die erforderliche Lage zurückversetzt werden können. 2, beides aber muß geschehen, ohne daß es nöthig ist, die Behälter, welche zur Einsperrung der sich entbindenden Gase verschlossen sein müssen, deshalb zu öffnen, damit der Experimentator durch die hervordringende Luft in diesem Falle so wenig als während der Dauer einer ganzen Reihe von Versuchen im Mindesten belästigt werde. Endlich muß 3, dafür gesorgt sein, daß, da zu manchen Versuchen nur eine geringere magnetische Wirkung erforderlich ist, nach Belieben eine bald größere bald kleinere Fläche des Metalles in Wirksamkeit gesetzt und so auch in dieser Hinsicht nutzloser Verbrauch des Zinkes vermieden werden könne.

Die Beschreibung des Siderophors ist folgende: Der Hauptheil des Instrumentes ist ein $7\frac{1}{2}$ Zoll hohes und 6 Zoll im Durchmesser haltendes cylindrisches Gefäß von starkem Kupferblech. Fig. 35. stellt dasselbe perspectivisch dar; in Fig. 36. erscheinen, so wie in Fig. 37. und Fig. 38. die übrigen Theile des Apparats, nach den sämmtlichen Originalverhältnissen im Durchschnitte. Auf den Boden ab desselben sind außer der Hauptwand cc, noch drei mit ihr concentrische Wände: dd, ee und ff in gleichen Abständen von einander aufgelöthet. Der mittelste Theil des Bodens innerhalb der engsten Cylinderwand ff, ist

Digitized by Google

bei f'f' (Fig. 36.) geöffnet und der ganze Behälter also in drei concentrische, unten geschlossene, oben offene Zellen, getheilt. Bei g (Fig. 36.) ist in den Boden ein Kupferzapfen unter metallischer Berührung fest eingeschroben und vernietet.

Fig. 37. ist der hölzerne Träger dieses Behälters. Der Boden a b des letzteren ruht auf der Fläche a' b' des Trägers, während der cylindrische Fortsatz h i des Trägers den mittleren unten geöffneten Theil des Behälters, welcher von der Wand ff' ff' (Fig. 36.) umschlossen wird, ausfüllt, bis auf einen kleinen cylindrischen Raum über i, der leer bleibt und dadurch, daß der Theil h i um $\frac{1}{8}$ Zoll niedriger als die cylindrische Seitenwand ist, gebildet wird. In der Axe i k und außer derselben mit ihr parallel in l m gehen starke Messingdrähte durch den Träger, die an der untersten Fläche desselben in k und m rechtwinklig umgebogen sind, über den Rand dieser noch von drei kleinen kugelförmigen Füßen getragenen Fläche hervorragen und an den Enden mit angelötheten kleinen Kupfernäpfen i, n, l und o versehen sind. In den Napf l greift der am Boden des Behälters befestigte Kupferzapfen g (Fig. 36.) ein. Der Napf i muß beinahe $\frac{1}{2}$ Zoll weit sein, die übrigen Näpfe dürfen nur $\frac{1}{4}$ Zoll Weite haben.

Der Deckel p p, Fig. 38., ist aus einer $1\frac{1}{2}$ Zoll dicken Scheibe von Mahagoni- oder anderem dichten und harten Holze gedreht und überdieß noch durch einen wiederholten Ueberzug mit einem guten Lackfirniß gegen die Einwirkung der Feuchtigkeit geschützt. In der Mitte ist er so weit durchbohrt, daß wenn er den auf seinem Träger ruhenden Behälter verschließt, doch das an jenem befindliche Kupfergefäß i durch die Oeffnung von oben zugänglich bleibt. An der innern und äußern Peripherie des Deckels treten angedrehte Ränder $\frac{3}{8}$ Zoll tief herab, um die äußerste und innerste Wand des Behälters von beiden Seiten zu umgreifen und so diesen hinlänglich zu verschließen. Außer der Oeffnung in der Mitte sind noch sechs cylindrische Löcher (so daß ihre Axen in der gemeinsamen Verticalebene eines Durchmessers des Deckels liegen) durch ihn hindurch gebohrt, von denen je zwei, q und q, r und r, s und s diametral gegenüber in die Mitte zwischen den Wänden je einer Zelle des Behälters fallen.

Durch diese Löcher können wohlgerundete und geglättete, $\frac{1}{4}$ Zoll starke Messingdrähte t t, u u, v v ohne die mindeste Friction leicht auf und nieder bewegt werden. An den untern Enden haben sie Einschnitte, in denen cylindrische Reifen aus Zinkblech, von etwa 0,6'' Dicke, an diametral entgegengesetzten Stellen dieser Reifen, festgelöthet sind, so daß die Drähte t t den weitesten Reifen t t' t t' für die äußerste Zelle, die Drähte u u den kleineren Reifen u u' u u' für die mittlere Zelle und v v den engsten Reifen v v' v v' für die innerste Zelle tragen. Alle Zinkreifen sind gleich hoch, nämlich jeder beinahe $\frac{1}{4}$ Zoll niedriger als die halbe Höhe des Behälters. Die obern Enden der Drähte haben Schraubenansätze und sind durch Messingbügel t w t, u x u, v z v verbunden, die an den Enden mit Löchern versehen sind, durch welche die Endschrauben hindurchgesteckt und mit Schraubenköpfen überall bei t, u und v festgezogen werden.

Digitized by Google

In der Mitte des Bügel vzv ist ein Kupferrohr zz' festgelöthet, das etwa $\frac{1}{4}$ Zoll lang und beinahe $\frac{3}{8}$ Zoll weit ist, so daß es, wenn der Bügel auf dem Deckel pp aufliegt, gerade in das Kupfergefäß i (Fig. 37.) herabreicht und darin Raum hat. In der Mitte des Bügels uxu ist gleichfalls ein solches Kupferrohr festgelöthet, das aber so viel enger als das vorige sein muß, daß es durch dasselbe sich leicht hindurchschiebt und, wenn der Bügel auf dem Deckel ruht, eben so in den Napf i hinabreicht, weshalb es auch um eine Bügelstärke länger als jenes sein muß. Endlich trägt die Mitte des Bügels twt noch einen starken Kupferdraht, der wieder durch die Oeffnung des eben genannten Rohrs hindurchgeht und die erforderliche Länge hat, um beim Aufliegen des Bügels auf dem Deckel gleichfalls in den Napf bei i hinabzureichen.

Die Länge und Richtung der Drähte tt, uu, vv sowie der eben beschriebenen Kupferstücke an den Bügeln muß so beschaffen sein, daß, wenn der Deckel gehörig auf dem Behälter aufliegt, und die drei Bügel bis auf den Deckel herabgelassen sind und auf ihm ruhen, die Zinkreifen in den zugehörigen Zellen des Behälters bis nahe auf den Boden herabreichen, ohne jedoch weder diesen noch viel weniger sonst eine der cylindrischen Kupferwände zu berühren und daß alsdann zugleich die Kupferstücke der Bügel gleich tief bis auf den Boden des Kupfernapfes in i herabtreten.

Die Zinkreifen werden an die Messingdrähte in den Einschnitten mit Zinn festgelöthet und allenfalls noch durch Niethe mehr befestigt. Eben so dürfen auch die Cylinderwandungen des Behälters auf den Boden von hinlänglich starkem Kupferblech in dazu besonders eingedrehte kleine Vertiefungsrinnen mit Zinn fest gelöthet werden. Alle übrige Löthungen werden am besten in Feuer gemacht.

Soll das so hergerichtete Instrument zu galvanischmagnetischen Versuchen benutzt werden, so wendet man eine mit 12 Theilen Wasser verdünnte Salpetersäure an, durch welche die gelötheten Stellen so wenig als das Kupfer angegriffen werden und füllt mit dieser Mischung die Zellen des Behälters genau bis zur Hälfte ihrer Höhe an. Die Boden der Kupfernäpfe und die Extreme der in sie zu tauchenden Kupferstücke werden durch salpetersaures Quecksilber amalgamirt und nachdem man alle Kupfernäpfe etwa bis zur Hälfte mit Quecksilber angefüllt hat, hebt man die drei Bügel über dem Deckel des Behälters so hoch empor, daß die Zinkreifen die untere Fläche des Deckels unmittelbar berühren, erhält sie in dieser Lage durch einen zwischen den Deckel und die Kupferstücke der Bügel geschobenen kleinen Sperrcylinder von Holz und verschließt nun den Behälter durch den darauf gelegten Deckel vollends. So ist der Siderophor in der Gestalt, wie Fig. 39. darstellt (in seiner Verbindung mit dem nachher zu beschreibenden Gyrotrop). Die Zinkcylinder befinden sich alsdann, wenn die Flüssigkeit die vorgeschriebene Höhe nicht überschreitet, mit ihren untern Rändern noch über der Oberfläche und also ganz außerhalb derselben.

Je nachdem man nun zu den verschiedenen Versuchen mehr oder minder magnetische Kraft gebraucht, läßt man entweder nur den klein-

Digitized by Google

sten oder die beiden kleinern Zinkreifen oder alle drei zugleich in die Säure hinab, so daß die Bügel der zu benutzenden Zinkreifen ganz auf dem Deckel des Behälters aufliegen, während die etwa zurückbleibenden unbenutzten durch ein hölzernes Sperrstückchen in ihrer Lage erhalten werden. In jedem Falle wird alsdann, vermöge der in den Napf bei i tauchenden Kupferstücke der herabgelassenen Bügel, von dem am Fuße des Siderophors befindlichen Näpfen o und n, ersterer der eine, dieser der andre Pol der Kette und sobald der Versuch beendigt ist, zieht man augenblicklich wieder mit den Bügeln den Zink aus der Flüssigkeit heraus und erhält ihn durch die Holzstütze so lange in dieser Lage, bis er zu einem unterdeß vorbereiteten Versuche aufs Neue angewendet werden soll.

Das während der Einwirkung der Flüssigkeit auf den Zink sich entbindende Salpetergas sammelt sich, weil es schwerer als die atmosphärische Luft und verhältnißmäßig nur in geringer Quantität erzeugt wird, langsam in der obern Hälfte der Zellen an und treibt bloß die atmosphärische Luft aus den letzteren durch die Fugen zwischen dem Deckel, den obern Rändern des Behälters und den beweglichen Drahtstücken allmählig heraus. Auf diese Weise kann man eine ganze Reihe von Versuchen mehre Stunden hintereinander durchführen, ohne daß weder der Zink unnütz und übermäßig angegriffen, noch eine Spur vom Salpetergase im Zimmer, worin die Versuche angestellt werden, bemerkbar würde.

Nach Beendigung der Versuche trägt man das Instrument an die freie Luft, hebt den Deckel unter Vermeidung der Respiration des hervorbringenden Gases ab und bürstet von den unter Wasser getauchten Zinkcylindern den Schmutz fort, was sehr leicht und schnell geschieht, zumal wenn die Bügel von den Drähten gelöst und die Reifen einzeln behandelt werden, in welchem Falle sie auch ohne Mühe sogleich abgetrocknet werden können. Der kupferne Behälter darf bloß von seinem Träger abgehoben, ausgegossen und nachdem er mit Wasser gehörig ausgespült worden, zum Trocknen, mit der Oeffnung Anfangs nach unten gekehrt, hingestellt werden.

Zu einer ganzen mehre Stunden füllenden Reihe von Versuchen braucht man nur ein geringes Maß von unverdünnter Säure, etwa 7 Cubikzoll; ja man kann dieselbe Flüssigkeit zu verschiedenen Malen mit Erfolg anwenden. Ungeachtet der verhältnißmäßig nur geringen Flächengröße des Apparats ist seine Wirkung sehr kräftig, so daß sich in Verbindung mit der unter dem Namen Gyrotrop nachher zu beschreibenden Vorrichtung alle Arten galvanischmagnetischer Versuche mit vorzüglicher Präcision und Sicherheit durch ihn darstellen lassen. Um eine bestimmtere Vorstellung von der Anwendung und Wirkungsart des Apparates zu geben, führt Pohl einige Versuche an.

Es ist oben gesagt worden, daß die elektromagnetische Wirksamkeit von der Größe der Platten des elektromotorischen Apparats abhänge; nach den neusten Untersuchungen von Dal Negro ist es aber nicht sowohl die Größe der Oberfläche, sondern des Umfanges, nach welchem die elektromagnetische Wirkung eines Elektromotors sich richtet, und

Digitized by Google

zwar gilt dieses sowohl vom Zink als vom Kupfer. Als Maß der Wirkung nahm Dal Negro die Anzahl der Kilogramme an, welche ein magnetischer Eisenstab, dessen Magnetismus vom Strome des betreffenden Elektromotors herrührte, zu tragen vermochte*). Dal Negro bediente sich eines Elementes von Zink und Kupfer und fand unter Anderm, daß eine quadratische Zinkplatte einen Magnetismus von 9,26 K., eine rectanguläre von gleicher Oberfläche (aber größerm Umfange) dagegen einen Magnetismus von 17,18 K. erregte. Eine andre quadratische Zinkplatte von 1,45 Q. Zoll Oberfläche gab einen Magnetismus von 26 K., als man aber ein viereckiges Stück aus derselben herausschnitt, so daß nur ein Zinkrahmen von drei Linien Breite übrig blieb, erhielt man durch ihn eine Kraft von 24 K.; das weggenommene Zinkstück selbst aber gab eine Kraft von 22,4 K. und selbst als man auch dieses wieder in einen zwei Linien breiten Rahmen umgewandelt hatte, erregte es noch eine Kraft von 19,5 K. Nach Dal Negro kann ein Element, das aus einem Zinkstreifen oder einem Zinkdrahte besteht, der durch einen saures Wasser enthaltenden Kanal aus Kupfer lauft zu Erzeugung sehr kräftiger Magnete gebraucht werden, und ein Element aus Kupfer und Zinkdraht, die zu einer ebenen Spirale zusammengewunden sind, und in ein Säure enthaltendes Gefäß getaucht werden, ist zu Versuchen über die elektromagnetische Anziehung oder Abstoßung oder zum Magnetisiren in hohem Grade geeignet.

Unter den verschiedenen feuchten Leitern, deren man sich bedienen kann, verdient die verdünnte Schwefelsäure (Ein Theil Schwefelsäure und 3 bis 4 Theile Wasser) wegen ihres geringen Preises, ihrer starken Wirksamkeit und wegen des Umstandes, daß sie die gebrauchten Metalle nicht sehr beschmutzt, auch die Zinnlöthung nicht angreift, den Vorzug. Indeß frißt sie das Zink auf und bewirkt eine sehr bedeutende Gasentwicklung, welche unbequem und schädlich ist. Dagegen ist die gesättigte Salmiakauflösung eben so wirksam als verdünnte Schwefelsäure und kann länger benutzt werden, zerfrißt aber das Zinn der Löthung und beschmutzt Kupfer und Zink. Gesättigte schwefelsaure Zinkauflösung, welche Pfaff empfohlen, beschmutzt ebenfalls die Zinkplatte und verliert nach 24 Stunden ihre Wirksamkeit fast ganz, wie Muncke durch Versuche gefunden hat. Gesättigte schwefelsaure Kupferauflösung gibt nach Pfaff die stärkste Wirkung, ist aber theuer und setzt nach Muncke bald einen starken Ueberzug von Kupfer auf der Zinkplatte ab, wodurch ihre weitere Wirksamkeit aufgehoben wird. Salpetersäure greift das Metall stark an. Als vorzüglichste Leitungsflüssigkeit empfiehlt Muncke bei solchen Apparaten, bei denen der Zink nur so lange mit Säure in Berührung bleibt, als man die elektromagnetischen Erscheinungen beobachten will, eine Mischung von Salpetersäure, Schwefelsäure und Wasser (nach Davy 1168 Th. Wasser, 108 Th. Salp. und 25 Th.

*) Ueber die Eigenschaft der Elektricität, Eisen magnetisch zu machen, s. im Folgenden.

Digitized by Google

Schwef.) Muncke sagt, daß diese Flüssigkeit bei der nur kurze Zeit dauernden Einsenkung des Zinkes diesen nur wenig abnutze, die stärksten Wirkungen gebe und auch bei großen Apparaten den unerträglichen und gefährlichen Einfluß auf die Respiration nicht ausübe, der bei Anwendung verdünnter Schwefelsäure unvermeidlich ist.

Was die Leitungsdrähte, deren man sich bedient, betrifft, so wählt man vorzüglich Kupfer- oder Silberdrähte. Nach Davy folgen sich die Metalle hinsichtlich ihrer Leitungsfähigkeit für Elektricität in folgender Reihe, wobei der beste Leiter zuerst gestellt ist: Silber, Kupfer, Blei, Gold, Zink, Zinn, Platin, Palladium, Eisen. Die Drähte dürfen nicht zu dünn sein, indem aus Versuchen von Davy u. A. folgt, daß die elektrische Leitungsfähigkeit der Drähte bei gleicher Länge wie ihre Dicke sich verhält. Bei zu bedeutender Stärke nimmt indeß die Wirkung wieder ab. Die passendste Dicke der Leitungsdrähte wird in jedem einzelnen Falle durch die Mächtigkeit des Apparates, dessen man sich bedient, bestimmt, indem man sich so dicker Drähte bedienen muß, daß ihre Stärke ein zu starkes Glühen derselben hindert. Die Länge der Leitungsdrähte bedingt ebenfalls die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit, indem nach Muncke die elektromagnetische Kraft sich umgekehrt wie die Länge der Leitungsdrähte verhält. Hierbei ist aber vorausgesetzt, daß die Drähte die erregte Elektricität grade vollständig zu leiten vermögen; wenn dagegen der gebrauchte Draht die erregte Elektricität mehr als vollständig fortzuleiten vermag (welches von der Dicke und der elektrischen Leitungsfähigkeit der Masse des Drahtes abhängt), so macht die Länge der leitenden Drähte innerhalb gewisser Grenzen keinen Unterschied.

Die metallische Verbindung des Kupfers mit dem Zink muß ununterbrochen sein. Am vollständigsten ist sie daher, wenn die Drähte an die Kupfer- und Zinkplatten angelöthet sind, unter sich aber so in Verbindung gesetzt sind, daß die Metalle sich aufs Innigste berühren. Um diese Verbindung schnell wieder einleiten und wieder aufheben zu können, bedient man sich des Quecksilbers, indem man leicht, wenn ein Quecksilbertropfen mit dem von dem einen Metalle ausgehenden Drahte in Verbindung steht, den Kreis durch Einsenkung des von dem anderen Metalle ausgehenden Drahtes in das Quecksilber schließen und durch Heraushebung aus demselben öffnen kann. Damit die metallische Verbindung vollständig sei, darf das in das Quecksilber einzusenkende Ende eines Drahtes nicht mit Schmutz, Oxyd u. dergl. überzogen sein, daher man wohl thut, diese Drahtenden bei Anstellung der Versuche von Zeit zu Zeit abzukratzen, damit das Metall rein heraustritt. Auch das Quecksilber, dessen man sich hierbei bedient, muß möglichst rein sein (namentlich bei den Versuchen, wo eine Bewegung des in dasselbe gesenkten Drahtes beobachtet werden soll) so daß es sich nur wenig an die Körper anhängt. Wenn sich die Verbindung der Drähte durch Quecksilber nicht wohl herstellen läßt, und der Strom durch zusammengeschlungene Drähte fortgeleitet werden soll, reibe man sie mit etwas salpetersaurem Quecksilber. Eisen und Stahl können vorher in schwefelsaurer Kupferlösung mit etwas Kupfer überzogen werden.

Digitized by Google

Da die Drähte dazu dienen, den elektrischen Strom fortzuleiten, und die magnetischen Wirkungen, von denen hier die Rede ist, nicht sowohl durch die Drähte selbst als vielmehr durch die in ihnen fortgeleiteten elektrischen Ströme hervorgebracht werden, so spricht man häufig von Strömen und deren Bewegungen, indem man eigentlich die Drähte, welche von Strömen durchflossen werden und die Bewegungen solcher Drähte meint.

Zu leichterer Uebersicht der elektromagnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes und um des kürzern Ausdrucks willen denkt man sich immer nur den positiven Strom, indem man nach Franklin und Volta nur Eine elektrische Materie annimmt, so daß also wenn Kupfer und Zink durch eine Flüssigkeit oder eine nasse Tuchscheibe von einander getrennt sind, der elektrische Strom vom Kupfer zum Zink übergeht. Wenn dagegen mehre Plattenpaare, wie in einer Voltaschen Säule, mit einander verbunden sind, so daß Kupfer, Zink, feuchter Leiter, Kupfer, Zink u. s. w. in dieser Reihenfolge mit einander verbunden werden, so geht bei jeder dieser Verbindungen die Elektricität vom Kupfer zum Zink über und theilt sich dann, verstärkt durch den feuchten Leiter, jedem folgenden Paare mit; dadurch wird das Kupfer des ersten Paares am stärksten negativ und das Zink des letzten Paares am stärksten positiv elektrisch. Ein diese beiden Theile verbindender Draht führt folglich den elektrischen Strom vom Zink zum Kupfer über. Während folglich bei einem Plattenpaare der elektrische Strom vom Kupfer zum Zink geht, nimmt derselbe bei mehren zu einer Säule geordneten Plattenpaaren den entgegengesetzten Weg, vom Zink zum Kupfer.

Da es bei den elektromagnetischen Versuchen häufig darauf ankommt, den Strom, welcher sich vom positiven zum negativen Pole durch den Verbindungsdraht (mit dem andere Apparate in Verbindung gesetzt sind) ergießt, umzukehren, daß er durch den Verbindungsdraht in entgegengesetzter Richtung geht, (welches geschieht, wenn das bisher mit dem positiven Pole in Verbindung stehende Ende des Drahtes mit dem negativen Pole verbunden wird, und das bisher mit dem negativen Pole verbundene mit dem positiven Pole); so hat man zu leichterer Herstellung dieser Umwendung eigene Vorrichtungen unter dem Namen Gyrotrop (v. d. griech. γύρος Kreis und τρέπω wenden) hergestellt. So wohl Pohl als Ampère haben solche Vorrichtungen angegeben, von denen sich die des erstern, durch ihre Einfachheit auszeichnet.

Das Pohlsche Gyrotrop besteht*) in seiner einfachen Gestalt nur aus zwei Stücken. Das eine ist eine runde Scheibe aus festem Holze, Fig. 40., etwa 4 Zoll breit und 1 Zoll dick. In gleichen Abständen von einander sind an ihrem Umfange sechs, etwa $\frac{3}{8}$ Zoll breite und tiefe cylindrische Löcher, a, b, a′, b′, k und z, gebohrt, die mit kleinen Kupfernäpfen ausgefüttert sind und von welchen zwei Paar, diametral gegenüber liegende, a und b′, b und a′, wie es die Zeichnung darthut, durch angelöthete starke Kupferdrähte mit einander verbunden

*) Fig. 39. zeigt es in Verbindung mit dem Siderophor.

Digitized by Google

sind, während der eine von den letzteren beiden in der Mitte bei c eine solche Biegung erhalten hat, daß dadurch eine Berührung beim Durchkreuzen beseitigt wird und gar keine leitende Verbindung zwischen den Drähten stattfindet.

In die sechs Kupfernäpfe wird Quecksilber geschüttet. Die unverbundenen k und z werden mit dem Kupfer- und Zinkpole der Kette in Verbindung gesetzt und von den vier übrigen Näpfen werden zwei, wie etwa a und b, mit den Extremen des frei beweglichen Leiters, oder, wie es in der Zeichnung angedeutet ist, mit den Enden des um die Magnetnadel herumgeführten Drahtes, durch Eintauchung, leitend verbunden.

Gesetzt nun, man füllte die jetzt noch bestehende kleine Lücke zwischen k und a durch einen kleinen, an den Enden umgebogenen, und in die Vertiefungen bei k und a eintauchenden Draht aus und eben so die Lücke zwischen z und b, so durchläuft, wenn der Draht z die positive Elektricität herbeiführt, der Strom den Weg zbNak, geht mithin im Drahte N nach der durch den oben und unten stehenden Pfeil bezeichneten Richtung. Wenn man dagegen die Lücke zwischen k und a und zwischen z und b' auf die vorhingedachte Weise ausfüllt, so wird, wie leicht zu erachten, der Strom in diesem Drahte grade die umgekehrte Richtung erhalten. Begreiflich kann man an die Stelle des Drahtes N beliebige Systeme beweglicher Leiter bringen, auf die der Strom wirken soll.

Um jedoch den angegebenen Wechsel noch bequemer und ungleich schneller zu bewerkstelligen, als es durch das vereinzelte Ausheben und wieder Einlegen der beiden kleinen Drähte, von der einen auf die andre Seite möglich ist, bedient man sich dazu eines einzigen Gliedes, welches das zweite Stück der ganzen Vorrichtung ausmacht und in Fig. 41. besonders dargestellt ist. Es besteht aus einem kupfernen Drahtbügel klmz, auf welchem in der Gegend der Biegung, bei l und m, die bogenförmigen Kupferdrahtstücke ala', bmb' aufgelöthet sind. Die Dimensionen sind dabei so genommen, daß die Enden k und z in die gleichnamigen Kupfernäpfe der Fig. 41., neben den Polardrähten der Kette gleichzeitig eingetaucht werden können und daß, wenn die Schenkel kl, mz senkrecht stehen, die Bogenextreme a' und b', so wie a und b, die Scheibe nicht berühren, daß hingegen, je nachdem man den Bügel auf die eine oder die andre Seite neigt, entweder die Extreme a und b in die gleichnamigen Näpfe der Scheibe greifen und, mit k und z in eine Ebene fallend, dem Bügel eine feste hinlänglich unterstützte Lage, worin er sich durch sich selbst erhält, verstatten, während a und b schreg aufwärts frei in die Luft hinein ragen, oder eben so vice versa. Aus dem Bügel klmz ist nun in der Mitte ein Stück heraus geschnitten, und an der Stelle des letzteren befindet sich ein Griff g von Glas oder Holz, in welchen die Enden l und m, ohne leitende Gemeinschaft mit einander zu haben, eingekittet sind.

Es erhellt leicht von selbst, wie durch die Verbindung dieses zweiten Stücks mit dem ersten uud durch ein bloßes Umbiegen von der einen zur andern Seiten die plötzliche Umkehrung des Stromes bewerk-

Digitized by Google

ſtelligt werden kann. Auch läßt ſich leicht einſehen, wie man da, wo die Einwirkung eines Leiters auf einen zweiten nachgewieſen werden ſoll, zwei ſolche Apparate mit einander verbinden, und nachdem der Strom durch den einen hindurchgeführt, ihn nun auf gleiche Weiſe auch durch den andren hindurch leiten könne, ſo daß der Gang des Stroms in jedem der beiden Leiter, oder auch in beiden zugleich, ſo ſchnell und ſo oft man will, verändert werden kann.

Das Ampèrſche Gyrotrop hat folgende Einrichtung. Man ſieht in Fig. 42. zwei verticale kupferne Säulen V und V′, auf einem hölzernen Fußgeſtelle LL′ befeſtigt. An ihren obern Enden ſind ſie rechtwintlig umgebogen und endigen ſich in die Schalen pp′, deren Mittelpunkte ſich in derſelben Verticale befinden. Die horizontalen Theile dieſer Säule, welche ſich in der Figur zu berühren ſcheinen, ſind durch eine iſolirende Materie von einander getrennt. Wenn mithin ihre Füße mit beiden Polen der Säule in Verbindung geſetzt werden, ſo erhellt, daß die Elektricitäten durch die Kupferſäule hindurch in die Schälchen gebogen und durch den Leiter hindurchſtrömen werden, den man mit ſeinen Spitzen in die Schälchen eingeſenkt hat*). Um nun die Richtung der Strömung in dieſem Leiter beliebig umkehren zu können, bedient ſich Ampère des auf folgende Weiſe eingerichteten Gyrotrops, welches die Verbindung der Kupferſäule mit dem elektromagnetiſchen Apparat herſtellt.

R und R′, Fig. 43., ſind in zwei Furchen von einigen Linien Tiefe, ausgehölt in der Dicke des hölzernen Fußgeſtelles, welches die Kupferſäulen trägt; v und v′, t und t′ ſind 4 Höhlungen, eben ſo ausgehölt und welche diagonal durch 2 Kupferſtreifen verbunden werden, nämlich ll′, welcher von v nach v′ geht und mm′, welcher von t nach t′ geht. Wo ſich dieſe Streifen kreuzen, ſind ſie durch einen kleinen Streifen nicht leitender Subſtanz geſchieden, damit der Strom keinen Uebergang von einem zum andren finde. Die beiden Fugen und die 4 Höhlungen werden mit Queckſilber gefüllt. Zuvor aber ſind ſie mit einem Harzfirniß überzogen worden, damit der Strom nicht durch die Dicke des Holzes, welche ſie von einander ſcheidet, hindurchgehen könne.

Geſetzt nun, der poſitive Polardraht tauche in die Furche R und der negative in die Furche R′. Offenbar werden die Elektricitäten, wenn man noch keine anderen, als die angegebenen Anordnungen getroffen hat, in keine der 4 Höhlungen v, v′, t, t′, übergehen können. Stellt man aber zugleich eine Communication zwiſchen R und v und eine andre zwiſchen R′ und t her, ſo wird der Strom von v nach v′ durch den Streifen ll′ und von t nach t′ durch den Streifen mm′ übergehen. Mithin wird der Streifen b′, welcher mit v′ communicirt, poſitiv, der Streifen b, welcher mit t communicirt, negativ ſein.

*) Die Nothwendigkeit dieſer Art den Verbindungsdraht anzubringen um eine gewiſſe Reihe elektrom. Verſuche anzuſtellen, wird aus dem Folgenden erhellen.

Digitized by Google

Wenn man dagegen beim ersten Zustand der Dinge Verbindungen zwischen R und t', so wie R' und v' bewerkstelligt, so wird der Streifen b' negativ und der Streifen b positiv sein. Man wird sonach die Richtung der Strömung in dem metallischen Bogen, welcher b und b' verbindet, umkehren können, je nachdem man zwei Communicationen zwischen R und v und R' und t oder zwischen R und t' und R' und v' bewerkstelligt.

Zur Herstellung dieser Verbindungen nun dient der Theil BB', welcher in der Figur außer seiner Lage vorgestellt ist. Er ist aus Holz und kann sich um die Axe aa' drehen, welche in die Löcher o, o' in den Fußgestellen P, P' eingefügt wird. An diesem Theile sind 4 metallene Leitungsbogen befestigt, 2 auf einer Seite in c und c' und 2 andre eben solche auf der andren Seite in d und d'. Wenn er sich an seiner Stelle befindet, so entsprechen die Enden des Bogens c der Furche R und der Hölung v, die des Bogens d' der Furche R' und der Hölung t', die von c' der Furche R' und der Hölung t, die von d der Furche R' und der Hölung v'. Ihre Länge ist so beschaffen, daß sie in dieser Lage das Queckſilber nicht berühren. Dreht man aber den Theil BB', so daß die Bogen c und c' eintauchen, so geht der Strom von b' nach b, und dreht man so, daß die Bogen d und d' eintauchen, so geht der Strom in umgekehrter Richtung von b nach b'.

In Fig. 42. ist das Gyrotrop in seiner Lage verzeichnet und bloß der bewegliche Theil weggelaſſen, weil seine Zeichnung verhindert haben würde, die verticale Lage der Furchen und Hölungen zu erblicken. Wie man sieht, stehen die Streifen b und b' der Fig. 43. jeder seinerseits mit einem Fuße der Säule in Verbindung, und durch sie gelangen die entgegengesetzten Elektricitäten zu den Schalen p und p', um sich durch den, diese verbindenden Leiter hindurch zu vereinigen.

Die zuerst von Oersted beobachteten elektromagnetischen Erscheinungen betreffen die Wirkungen eines elektrischen Stromes auf die Richtung der Magnetnadel. Durch genaue Beobachtungen hat man den Einfluß eines elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel, in deren Nähe er gebracht wird, auf folgende Gesetze zurückgeführt, die ich nach Baumgartner wiedergebe: 1) Ist der elektrische Strom von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal schwebenden Magnetnadel parallel und letztere mit ersterem in einerlei Verticalebene; so wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach West abgelenkt, wenn der elektrische Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Ost, wenn er sich unter der Nadel befindet. 2) Hat der elektrische Strom dieselbe Richtung und steht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm, so wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der elektrische Strom an der Westseite des Magnets vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er sich an seiner Ostseite befindet. 3) Geht der elektrische Strom von Nord nach Süd, so erfolgen alle diese Ablenkungen nach entgegengesetzter Richtung. 4) Macht der elektrische Strom mit dem magnetischen Meridiane einen spitzen Winkel, so erfolgt die Ablen-

Digitized by Google

kung wie vorhin, nur schwächer. Man kann sich vorstellen, als ließe sich dieser Strom nach zwei Richtungen zerlegen, wovon einer im magnetischen Meridiane liegt und auf die Magnetnadel nach den früheren Angaben wirkt, während der andre auf dem magnetischen Meridiane senkrecht steht und keine Wirkung auf sie äußert. 5) Der Ablenkungswinkel ist desto größer, je wirksamer die Säule ist und je näher der elektrische Strom am Magnete vorbeigeht. Biot, Savary und Schmidt haben gefunden, daß die ablenkende Kraft umgekehrt in die Entfernung wachse. Ob sich zwischen dem Magnete und dem Polardrahte gute oder schlechte Leiter der Elektricität befinden und ob der Draht gerade ist oder Biegungen hat, ist einerlei. 6) Eine astatische Magnetnadel wird von einem elektrischen Strome so gestellt, daß ihre magnetische Are auf der Richtung des Stromes senkrecht steht. Wenn daher die Abweichung einer gewöhnlichen Magnetnadel nicht 90 Grad beträgt, so ist der Grund allein in dem Einflusse des Erdmagnetismus zu suchen, welcher der Kraft des Stromes auf die Magnetnadel entgegenwirkt. Alle diese Gesetze lassen sich durch das Eine Gesetz ausdrücken, daß, wenn man sich den Beobachter in den elektrischen Strom so gelegt denkt, daß die Elektricität von den Füßen zum Kopfe strömt, und das Gesicht nach der Magnetnadel hingewendet ist, der Nordpol der Magnetnadel stets links abgelenkt wird. Jeder Polardraht übt folglich auf die Magnetnadel eine Kraft aus, vermöge welcher er dieselbe senkrecht auf die Richtung des elektrischen Stromes zu stellen sucht, so daß ihr Nordpol an der linken Seite des im Strome befindlichen Beobachters liegt.

Um die eben erwähnten Erscheinungen durch den Versuch zu bestätigen, kann man sich des Fig. 44. abgebildeten Apparates bedienen. A ist ein kupferner Trog, BCD eine Zinkplatte, welche dreimal rechtwinklig umgebogen ist, so daß sie die in der Figur angegebene Gestalt annimmt. Bei a und b sind Spitzen, auf welche Magnete aufgesetzt werden können und bei c ist ein Magnet an einem Faden zwischen den obern und untern Theil der Zinkplatte aufgehangen. Der kupferne Trog A ist mit einer Säure gefüllt und steht auf dem untern Theile der umgebogenen Zinkscheiben. Wenn nun das andre Ende dieser Zinkscheibe, wie die Fig. zeigt; in den kupfernen Trog so eingesenkt wird, daß es nirgends das Kupfer berührt, so wird hierdurch der elektrische Kreis geschlossen, und die Elektricität strömt durch das Zink in derjenigen Richtung, welche die Pfeile in der Figur angeben. Sobald der elektrische Strom eintritt, bemerkt man die im Vorhergehenden angegebenen Abweichungen, wobei vorausgesetzt ist, daß zu Erfüllung der unter N° 1. angegebenen Bedingungen der Apparat in der Richtung des magnetischen Meridians aufgestellt ist. Man denke sich selbst nach der Richtung der Pfeile in der Zinkplatte liegend nach einem oder dem andern Magnete hinsehend, so wird man bemerken, wie die Magnetnadel links durch den Strom abgelenkt wird. Zugleich bemerkt man, daß auf die Magnetnadel c der untere Theil der Zinkplatte und der obere Theil derselben gemeinschaftlich und in gleichem Sinne wirken. Hierdurch

Digitized by Google

wird die Wirkung auf die Magnetnadel verstärkt. Die Abweichung der Magnetnadel beträgt nicht völlig 90 Grad. Um sich zu überzeugen, daß hiervon allein der Erdmagnetismus die Ursache sei, kann man statt einer gewöhnlichen Magnetnadel die astatische Magnetnadel von Schmidt (s. d. Art. Magnetnadel, astatische) anwenden, oder man befestigt zwei Magnetnadeln so über einander, daß der Nordpol der einen über den Südpol der andren und der Südpol der erstern über den Nordpol der zweiten zu stehen kommt, wie Fig. 45. zeigt, und diese beiden Magnetnadeln an einem Faden über den Strom aufhängt. Da der Erdmagnetismus auf diese beiden Nadeln in entgegengesetztem Sinne wirkt, aber keine ohne die andre gedreht werden kann, so hebt sich der Einfluß des Erdmagnetismus auf und die Wirkung des Stromes allein macht sich geltend und zwar so, daß nach wenigen Oscilationen die Magnetnadel eine auf die Richtung des Stromes senkrechte Stellung annimmt. Die angegebene Doppelnadel wird noch eher diese Stellung gegen den Strom annehmen, wenn sie mit Hilfe eines in den obern Zinkstreifen gemachten Einschnittes so aufgehängt ist, daß die eine Nadel oberhalb, die andre unterhalb des Stromes zu stehen kommt, indem nämlich dann die durch den Strom auf die Nadel ausgeübten Wirkungen einander zu schnellerer Befestigung der Stellung der Doppelnadel zu Hilfe kommen, wie alsbald einleuchtet, wenn man sich in die angegebene Lage gegen den Strom und gegen die eine und die andre Magnetnadel versetzt denkt und die Regel festhält, daß dann der Nordpol der Magnetnadel nach der linken Hand zu um 90° abweichen müsse.

Noch eine andre Art, das Bestreben des elektrischen Stromes, die Magnetnadel rechtwinklig auf seine Richtung zu stellen, aufzuzeigen, ist die, daß man den Fig. 44. abgebildeten Apparat genau in die Richtung des magnetischen Aequators, d. h. senkrecht auf die gewöhnliche Richtung der Magnetnadel, stellt, dann erfolgt auch durch den stärksten elektrischen Strom keine Abweichung der Magnetnadel; hier wirken nämlich der Erdmagnetismus und der elektrische Strom in demselben Sinne richtend auf die Magnetnadel, nämlich dann, wenn der über die Magnetnadel hinweggehende Strom von Westen nach Osten oder der unter der Magnetnadel weggehende Strom von Osten nach Westen geht. Wenn man bei dieser Stellung des Apparates gegen die Nadel diese mittelst eines Magnetes oder eines Stückes Eisens momentan aus ihrer Lage bringt, so geht sie nach Aufhebung dieses störenden Einflusses durch eine Reihe von Oscilationen in ihre frühere Stellung zurück und und zwar macht sie diese Schwingungen schneller, als wenn sie allein durch den Erdmagnetismus gerichtet würde, zum Beweise, daß noch eine andre Kraft, nämlich die des elektrischen Stromes, richtend auf sie wirkt.

Man weiß aber, daß die Gesammtkraft, welche das Zurückführen in die ursprüngliche Lage des Gleichgewichts hierbei bewirkt, wie das Quadrat der Anzahl Schwingungen sich verhält, die in gleicher Zeit vollbracht werden, oder umgekehrt wie das Quadrat der Anzahl Zeittheile, die zu derselben Anzahl Schwingungen erforderlich sind, und man kann folchergestalt berechnen, welches Verhältniß die Kraft des Streifens zur Kraft des Erdmagnetismus besitzt, indem man die Nadel erst ohne den

Digitized by Google

Einfluß des Streifens, bloß durch die Wirkung des Erdmagnetismus, dann unter vereinter Wirkung des Streifens und des Erdmagnetismus schwingen läßt. Das durch die erste Beobachtung gefundene Maß des Erdmagnetismus, von dem durch die zweite Beobachtung gefundenen Maß der vereinten Kraft des Stroms und Erdmagnetismus abgezogen, gibt das Maß für die Kraft des Stroms allein.

Wenn der elektrische Apparat so aufgestellt ist, daß zwar der Strom in der Richtung des magnetischen Aequators, aber über der Nadel von Ost nach West und unter der Nadel von West nach Ost fortgeht, so strebt er nach der allgemeinen Regel den Nordpol der Nadel links von seiner Richtung zu stellen, indem er aber der richtenden Kraft des Erdmagnetismus gerade direct entgegenwirkt, so wird eine genau in der Ebene des magnetischen Meridians aufgehängte Nadel von ihm nicht abgelenkt, so lange sie nicht durch einen äußren Einfluß aus dieser Lage gebracht wird. Sobald dieses aber der Fall ist, geht sie nicht wie in dem vorher angeführten Falle durch Oscilationen in ihre natürliche Lage zurück, sondern indem sie ihre Richtung umkehrt, stellt sich ihr Nordpol links vom Strome. Es gibt auf diese Weise zwei verschiedene Arten des Gleichgewichtes, in denen sich die Nadel bei senkrechter Richtung auf den Streifen befinden kann, welche man durch die Namen des stablen und instablen Gleichgewichtes unterscheidet. Eine Nadel, welche aus dem stablen Gleichgewichte (durch einen Magnet oder durch Eisen) abgelenkt wird, geht durch Oscilationen in dasselbe zurück; eine Magnetnadel dagegen, welche aus dem instablen Gleichgewichte abgelenkt wird, nimmt eine der frühern entgegengesetzte Richtung an.

Ein über einer Nadel hinweggeführter elektrischer Strom wirkt, wie schon oben gesagt wurde, in demselben Sinne auf die Magnetnadel wie ein entgegengesetzter unter ihr hingeführter Strom und zwei so zugleich auf die Nadel wirkende Ströme bringen eine verstärkte Wirkung hervor. Ferner wirken auch zwei neben einander über- oder unterhalb der Nadel hinlaufende Ströme gemeinschaftlich auf diese, so daß sie zusammen eine stärkere Wirkung hervorbringen als jeder einzelne für sich. Hieraus folgt, daß man die Wirkung eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel bedeutend verstärken kann, wenn man den die Elektricität leitenden Draht mehre Male um die Nadel herumführt. Hieraus ergibt sich unmittelbar der von Schweigger erfundene Multiplicator oder Galvanometer (s. d. Art.)

Zu Anstellung der Beobachtungen über die Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Magnet gibt Muncke einen sehr einfachen Apparat an, der sich vor dem vorerwähnten dadurch auszeichnet, daß bei ihm alle Störungen abgeschnitten sind, welche durch den Luftzug auf die Bewegung der Magnetnadel wirken können. Muncke gibt folgende Beschreibung von demselben, wobei die gewählten Dimensionen willkührlich sind.

In dem lothrechten Durchschnitte der Zeichnung (Fig. 46.) ist ab ein flaches Bret von hartem Holze, 18 Par. Zoll lang und 8 — 9 Zoll breit, wonach die übrigen Dimensionen der Kürze wegen leicht geschätzt werden können. In einer dieses Bret in zwei gleiche Hälften theilenden Linie sind die beiden Glassäulen v, v' eingelassen, welche oben eine

messingne Fassung mit einem querliegenden messingnen Plättchen tragen 0,3 Zoll breit und 1 Zoll lang. Ueber diesen liegen zwei ganz gleiche messingne Plättchen II', den ersten parallel und beim Herablassen sie deckend, an beiden Enden mit einer Schraube so versehen, daß ein beliebiger Metalldraht zwischen die Plättchen gelegt und durch Anziehen der oben mit einem Blatte versehenen Schrauben befestigt werden kann. Jede Fassung hat oben einen kleinen messingnen Behälter f, f' mit einer Vertiefung, worin sich etwas Queckſilber befindet, aus welchem an jeder Seite ein oben gekrümmter Messingdraht a', a'' frei mit dem unteren Ende in eine im Brete befindliche, gleichfalls mit Queckſilber gefüllte Vertiefung herabgeht und um eine etwa mögliche Leitung der Elektricität durch das Bret zu verhüten, ist dasselbe auf seiner ganzen Oberfläche und vorzüglich in den erwähnten Vertiefungen mit Bernsteinfirniß überzogen. In die genannten Vertiefungen sind ferner die beiden krummgebogenen Enden c, c' der Drähte b' d herabgelassen, welche in einer Rinne im Brete liegen, und jeder durch drei kleine Haken in derselben so festgehalten werden, daß nichts über die Oberfläche des Bretes hervorragt. Sind die gebrauchten Drähte abgenutzt oder will man sie mit andern vertauschen, so kann man diese leicht unter den Häkchen oder Klammern hinschieben, bei c, c' etwas krumm biegen und in das Queckſilber eintauchen. Die Drähte laufen verlängert nach K und Z hin und sind mit ihrem anderen Ende der eine an die eine Seite des kupfernen Kastens, der andere an das eine der Zinkplatte angelöthet, wodurch also der elektrische Kreislauf vom Kupfer zum Zink und durch die leitende Flüssigkeit wieder zum Kupfer hergestellt ist. Ein hölzerner Rahmen g, g' 14 Zoll lang und 8 Zoll breit, welcher auf dem Brete ruhet, trägt in einem Falz 4 eingekittete Tafeln von hellem Glase, deren beide schmälere mit m, m' bezeichnet sind. Da wo sie mit ihren Enden zusammenstoßen, sind sie inwendig und auswendig mit schmalen Papierstreifen zusammen geklebt, und bilden sonach einen oben und unten offenen Kasten, um die Magnetnadel bei seinen Versuchen gegen den unvermeidlichen Luftzug zu sichern. Unten wird dieser Glaskasten von selbst durch das Aufsetzen auf das Bret geschlossen, der obere Rand desselben aber ist theils der größeren Festigkeit wegen, theils um eine weiche Unterlage zu bilden, mit einem nach beiden Seiten übergeschlagenen, etwa 0,75 Zoll breiten Riemen von Gemsenleder überklebt, auf welchem zwei oder drei verschiebbare Scheiben von Spiegelglase n, n' ruhen und oben eine Bedeckung des Kastens bilden, einige Zolle länger und breiter als dieser ist. Durch die kleinen Zwischenräume dieser Spiegelglasscheiben, da wo sie an einander stoßen, werden die Magnetnadeln an ungezwirnten Seidenfäden aufgehangen herabgelassen, durch ein kleines, an dem verlängerten Faden hängendes, über die Seite der Scheiben herabgelassenes Gegengewicht balancirt oder durch ein größeres auf den Scheiben ruhendes Stück Blei am Herabsinken gehindert. Uebrigens lassen sich die Nadeln zwischen den Ritzen der Scheiben nach der einen und durch das Verschieben der sämmtlichen Glastafeln auf dem weichen Leder des Glaskastens nach der andern Seite hinbewegen. Der Kasten hat unten

Digitized by Google

am Rahmen zwei Ringe, an denen er aufgehoben und nach Befestigung der Drähte wieder aufgesetzt werden kann, auch läßt sich derselbe nach Befinden auf dem Brete a b rechts oder links vorwärts oder rückwärts schieben, um das Verhalten der Nadel in allen verschiedenen Lagen gegen den elektrischen Leiter zu untersuchen. Endlich steht auch das ganze Bret a b mit seinen vier Füßen auf einem doppelt so breiten Brete als es selbst ist, welches dem Apparate zur Unterlage dient, auf seiner einen Hälfte den beschriebenen Apparat, auf der andren Hälfte aber den zur Erzeugung der Elektricität dienenden Apparat trägt. Das letztere größere Bret, welches deßwegen gewählt ist, damit der Apparat selbst nicht durch die gebrauchten Flüssigkeiten beschmutzt werde und um verschiedene Drähte und sonstige Sachen darauf zu legen, ruht auf einem 2 Zoll hohen und 12 bis 18 Zoll im Durchmesser haltenden Cylinder von Holz, vermittelst dessen das Ganze auf jeden beliebigen Tisch gesetzt und im Azimuth herumgedreht werden kann.

Muncke fügt die das Obige bestätigende Bemerkung bei: Befindet sich der Kupferpol im Norden und ist somit die elektrische Strömung von N nach S gerichtet, so wird die über dem zwischen l, l' ausgespannten Drahte schwebende Nadel westlich abweichen. Bringt man sie dann neben den Draht an die Westseite, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird bei der Schließung der galvanischen Kette die Nordspitze stark herabgezogen werden, in ihrer größten Tiefe aber schon das Bestreben nach einer östlichen Abweichung zeigen. Läßt man die Nadel so tief herab, daß sie sich frei unter dem Drahte hinbewegen kann, so ist ihre Abweichung östlich, und bringt man sie endlich an die Ostseite des Drahtes, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird die Nordspitze beträchtlich in die Höhe gehoben werden, bei ihrer größten Erhebung aber gleichfalls das Bestreben nach westlicher Abweichung äußern. Es versteht sich von selbst, daß die Bewegung der Südspitze der Nadel der angegebenen gerade entgegengesetzt sei.

Nicht so leicht wie durch galvanische Elektricität ist es mittelst eines Stromes gemeiner Reibungselektricität die Abweichung der Magnetnadel auf entsprechende Weise hervorzubringen. Zwar hatte schon Colladon 1826 Versuche bekannt gemacht, in welchen es ihm gelang, durch Anwendung einer Batterie, einiger Spitzen und eines empfindlichen Galvanometers Ablenkungen zu erhalten; doch war die Wiederholung dieser Versuche andren Physikern nicht gelungen und man war sehr geneigt, die Ablenkung der Magnetnadel für eine der galvanischen Elektricität eigenthümliche Wirkung zu halten. Indeß ist es in neurer Zeit Faraday auf das Vollkommenste gelungen auch in Bezug auf diese Ablenkungen die Identität der galvanischen und der Reibungs-Elektricität darzuthun. Er bediente sich einer starken Elektrisirmaschine mit einem Conductor von 1422 Q. Z. Oberfläche, welcher Funken von 10 bis 14 Zoll Länge gab. Die Versuche wurden mannigfach abgeändert und das Resultat aller seiner Versuche war, daß ein Strom gemeiner Elektricität die Magnetnadel in gleichem Maße ablenkt, er mag nun durch Wasser oder Draht, oder verdünnte Luft oder mittelst

Digitized by Google

Spitzen durch gewöhnliche Luft gegangen sein. Das einzige Erforderniß ist, wie es scheint, ihm Zeit zur Wirkung zu lassen.

Bei der Wiederholung der Oerstedschen Versuche fand man bald, daß der Leitungsdraht, welcher die Ablenkung der Magnetnadel bewirkte, selbst magnetisch sei. Arago beobachtete, daß der Schließungsdraht des starken galvanischen Apparates, dessen er sich bediente, Eisenfeile anzog, welche sich rund um denselben legte. Die feinen Eisentheile fielen aber sogleich von dem Messingdrahte ab, als die Verbindung der beiden Pole des Apparates unterbrochen wurde. Daß diese Anziehung nicht die gewöhnliche elektrische sei, nach welcher kleine Körpertheile aller Art von einem elektrischen Körper angezogen werden, ergab sich daraus, daß Kupferfeile und andre kleine Körper vom Schließungsdrahte nicht angezogen wurden. Die Art, wie sich die Eisenfeile an den Schließungsdraht anlegte, unterschied sich wesentlich von der Art, wie sich Eisenfeile um einen gewöhnlichen Magneten ordnet. Sie umwickelte den ganzen Schließungsdraht seiner ganzen Länge nach (während sie bei einem gewöhnlichen Magnete nach den polarischen Enden zu sich anhäuft), also wie wenn der Schließungsdraht ein Transversalmagnet wäre, welcher an jedem Punkte seines Umfanges einen Pol hat. Nach dem Abfallen von dem Schließungsdrahte zeigte die Eisenfeile keine magnetischen Eigenschaften, dagegen gelang es, Stahlnadeln durch den Schließungsdraht, von welchem Metalle dieser auch sein mochte, bleibenden Magnetismus zu ertheilen. Die Art und Weise, wie durch den elektrischen Strom Magnetismus in Stahlnadeln erregt wird, wenn der Strom der Elektricität quer über die zu magnetisirenden Nadeln geleitet wird, entspricht ganz der Art und Weise, wie der Einfluß eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel in den Oerstedschen Versuchen sich zeigte. Denkt man sich nämlich den Beobachter in die Richtung des elektrischen Stromes so gelegt, daß derselbe von den Füßen nach dem Kopfe zu geht und das Gesicht des Beobachters nach dem zu magnetisirenden Stahlstücke hingerichtet ist, so wird das Stahlstück in der Art polarisch, daß es seinen Nordpol zur linken Hand des Beobachters erhält. Ganz nach derselben Richtung strebt, wie oben gesagt worden, der elektrische Schließungsdraht eine Magnetnadel mit ihrem Nordpole zu stellen.

Wenn man einen elektrischen Strom bei einer unmagnetischen Nadel parallel mit der Richtung derselben vorbeileitet, so erhält sie keinen oder doch nur sehr geringen Magnetismus. Ist die Richtung des Stromes mit der der Nadel nicht parallel, so findet Magnetisirung Statt, und die magnetische Kraft, welche die Nadel durch den elektrischen Strom erhält, wird desto größer, je näher der Winkel, unter dem sich die Richtung des Stroms und der Nadel schneiden, einem Rechten kommt.

Aus dem Vorhergehenden erklärt sich ein von Davy angestellter Versuch. Derselbe befestigte 6 Stahlnadeln so auf eine Scheibe von Pappe, die $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hatte, daß sie ein in den Kreis beschriebenes Sechseck bildeten. Die Enden der Nadeln standen aber nicht in Berührung, sondern wurden durch kleine Zwischenräume getrennt.

Digitized by Google

Die Pappscheibe wurde mit einer in ihrer Mitte befindlichen Oeffnung so über einen Metalldraht geschoben, daß dieser senkrecht auf ihr stand; durch den Metalldraht wurde eine Batterie entladen und es fand sich, daß alle 6 Nadeln magnetisch geworden waren und zwar so, daß sie je zwei mit ihren ungleichnamigen Polen gegen einander lagen.

Ein im ersten Augenblicke auffälliges Resultat eines von Pfaff angestellten Versuches gibt bei näherer Betrachtung eine Bestätigung der oben gegebenen Regel. Derselbe ließ elektrische Funken durch eine, wie Fig. 47. zeigt, gewundene Spirale schlagen, so daß die positive Elektricität bei A in die Spirale überging. Hierdurch erhielt eine wie NN über die Spirale gehende Nadel zwei Nordpole, eine unter der Spirale befindliche Nadel zwei Südpole. Die Uebereinstimmung dieser Erscheinung mit der obigen Regel sieht man bald ein, wenn man sich den Beobachter in angegebener Art in die beide Theile der Nadel kreuzenden Ströme, welche für sie entgegengesetzt sind, gelegt denkt.

Wie oben die richtende Kraft eines den elektrischen Strom leitenden Drahtes auf die Magnetnadel durch mehre Windungen um dieselbe verstärkt wurde, so wird auch die magnetisirende Kraft eines Leitungsdrahtes auf eine Stahlnadel verstärkt, wenn derselbe spiralförmig um die Nadel herumgeführt wird. Ampère war der erste, welcher die Vermuthung aufstellte, daß eine innerhalb eines schraubenförmig gewundenen Leitungsdrahtes isolirt angebrachte Nadel stark magnetisch werden müsse. Indem die Elektricität durch einen schraubenförmig gewundenen Draht um eine in der Axe der Schraube befindliche Nadel herum geleitet wird, ist der elektrische Strom fortwährend in einer auf die Nadel fast senkrechten Richtung und denkt man sich den Beobachter in der angegebenen Stellung in den verschiedenen Windungen des Drahtes, das Gesicht gegen die Nadel gewendet, gelegen, so kann man im Voraus bestimmen, nach welcher Seite hin der Nordpol der Nadel sich bilden müsse, und begreift, wie alle Windungen des Drahtes zur Magnetisirung der Nadel in diesem Sinne zusammenwirken. Um den Draht eng oder wohl mehre Spiralen über einander um die Nadel winden zu können, und dabei die einzelnen Windungen der Drähte und diese selbst von einander isolirt zu erhalten, bedient man sich mit Seide übersponnener Drähte. Wenn man den zu magnetisirenden Stahlstab mit mehren in metallischer Verbindung mit einander stehenden und über einander geschobenen Schrauben umgibt, so muß man noch darauf sehen, daß die Windungen aller dieser Schrauben nach derselben Richtung gehen, da aus dem Vorhergehenden klar ist, daß eine rechtsgewundene Schraube nach der Seite des zu magnetisirenden Stabes einen Nordpol erzeugen wird, wo eine linksgewundene Schraube einen Südpol erzeugt. Zwei in verschiedener Richtung um denselben Stahlstab gehende Spiralen heben sich in ihren magnetisirenden Eigenschaften gegenseitig auf.

Davy und Yelin haben bei Versuchen die Beobachtung gemacht, daß man eine Stahlnadel mit beliebigen schlechten Leitern oder Nichtleitern der Elektricität umgeben könne, wie mit Glas, Seide Wachstaffet, Holz u. dergl. ohne daß dadurch der elektrische Strom seinen magnetisirenden Einfluß auf dieselbe verliert oder auch nur eine be-

Digitized by Google

deutende Verminderung derselben erleidet*). Nach Savary findet, wenn man eine Nadel mit einer Umhüllung von Metall umgibt, nur bei einer gewissen Dicke dieser Umhüllung eine völlige Einflußlosigkeit derselben auf die magnetisirende Kraft der elektrischen Entladung statt. Savary brachte in einen schraubenförmig gewundenen Draht zwei Nadeln, von denen die eine unverhüllt, die andre in eine vom Conductor isolirten dicken Cylinder von Kupfer eingeschlossen war, und fand, daß während die unumhüllte Nadel magnetisirt wurde, die eingeschlossene Nadel durch dieselbe elektrische Entladung keine magnetischen Eigenschaften annahm. Hierauf verringerte Savary die Dicke der Umhüllung mehr und mehr, während die Stärke der elektrischen Schläge dieselbe blieb; auf entsprechende Weise nahm der magnetisirende Einfluß auf die eingeschlossene Nadel zu. Endlich wurde bei einer bestimmten Dicke der Umhüllung die eingeschlossene Nadel in demselben Grade magnetisch wie die unumhüllte Nadel. Als die Dicke der Umhüllung noch weiter vermindert wurde, nahm die Magnetisirung der umhüllten Nadel nach einer Weile zu, bis sie ein Maximum (einen höchsten Grad) erlangt hatte; dann aber wurde der Magnetismus, den sie durch die elektrischen Schläge erhielt, nach und nach wieder geringer, so wie die Dicke der Umhüllung abnahm, und näherte sich somit dem Magnetismus, welchen die unumhüllte Nadel durch die gleichstarken Schläge erhielt.

Nimmt die Stärke der elektrischen Schläge zu, so muß demgemäß auch die Dicke der Umhüllung der eingeschlossenen Nadel zunehmen, wenn sie eben so stark magnetisch als die unumhüllte Nadel werden soll. Mit der Intensität der Schläge nimmt verhältnißmäßig auch der Grad des Magnetismus zu, welcher von der geringeren Dicke der Hülle herrührt. Die Dicke der Umhüllung, bei welcher keine magnetisirende Wirkung stattfindet, ist bei schwachen Schlägen gering. Hieraus folgt, daß zwischen der Dicke und Länge eines Metallcylinders ein gewisses Verhältniß stattfinden müsse, bei dem für eine gewisse Intensität des elektrischen Schlages die Wirkung des Cylinders die möglich größte ist.

Ich übergehe mehre minder wichtige Erfahrungen Savary's, um zu derjenigen zu kommen, welche eine Beschränkung der oben angegebenen Regel, nach welcher die Lage des Nordpols einer zu magnetisirenden Nadel sich bestimmen läßt, begründet. Savary fand nämlich, daß die magnetisirende Wirkung eines vom elektrischen Schlage durchlaufenen Drahtes in verschiedenen Entfernungen Abwechselungen in der Art und Intensität darbietet. Der leitende Draht ist horizontal in gerader Linie ausgespannt und verschiedene dünne Stahlnadeln befinden sich senkrecht mit ihren Mitten über diesem Drahte; sie sind an einer schwachgeneigten Leiste so befestigt, daß keine auf die andre einwirken kann und während die erste mit dem Drahte in Berührung steht, jede

*) Moll hat gefunden, daß die magnetisirende Kraft des elektrischen Stromes durch Elfenbein, Stein, Holz wirkt, auch eine an und für sich diese Kraft hemmende Metallhülle (s. d. Folg.) blieb ohne Wirkung, wenn sie mit einigen kleinen Löchern versehen war.

Digitized by Google

folgende weiter von demselben entfernt ist. So spannte unter andern Savary einen Platindraht von $\frac{1}{4}$ Millimeter Dicke und 2 Meter Länge auf eine Strecke von mehr als 1 Centimeter geradlinig über ein Linial aus, das ihm als Träger diente. Die Nadeln, welche glashart gehärtet waren, hatten $\frac{1}{4}$ Millimeter Durchmesser und 15 Millimeter Länge. Nachdem sie durch den Schlag einer, bei Weitem noch nicht zur Sättigung geladenen Batterie von 22 Quadratfuß Oberfläche magnetisirt worden waren, ließ man sie schwingen, um durch ihre Schwingungszahl die Stärke des erlangten Magnetismus zu messen. Es wurden folgende Resultate erhalten.

Nadeln.	Abstand der Nadeln vom Drahte.	Dauer von 60 Schwingungen.	Art der Magnetisirung *).	Nadeln.	Abstand der Nadeln vom Drahte.	Dauer von 60 Schwingungen.	Art der Magnetisirung *).
1ste	$0^{mm},0$	0′ 52″,4	regelm.	13te	$13^{mm},8$	0′ 49″,6	regelm.
2te	1,2	1 3,8	—	14te	16,3	0 38,2	—
3te	2,5	1 12,8	unregelm.	15te	18,7	0 33,8	—
4te	3,7	0 44,6	—	16te	1,0	0 31,3	—
5te	5,0	0 40,0	—	17te	23,8	0 29,5	—
6te	6,0	0 41,8	—	18te	28,5	0 30,8	—
7te	7,4	0 44,8	—	19te	34,0	0 29,8	—
8te	8,5	0 58,2	—	20ste	46,0	0 35,9	—
9te	9,7	1 20,1	—	21ste	70,0	0 55,6	=
10te	10,9	1 52,0	regelm.	22ste	100,0	1 27,6	—
11te	11,8	1 18,6	—	23ste	130,0	1 48,0	—
12te	12,5	1 1,0	—				

Die Betrachtung dieser Tabelle zeigt, daß der vom elektrischen Schlage erzeugte Magnetismus seine Richtung zweimal gewechselt hat, nämlich bei einer Entfernung bei ungefähr 2 Millimeter vom Drahte und bei einer Entfernung von ungefähr 10,4 Millimeter. Die regelmäßig magnetisirten Nadeln sind am stärksten magnetisch im Berührungspunkte mit dem Drahte und bei etwa 3 Centimeter Abstand, oder es finden in diesen Entfernungen Maxima statt, indem, wie die Tabelle zeigt, die dort befindlichen Nadeln 60 Schwingungen in der kürzesten Zeit vollendeten. Was die unregelmäßige Magnetisirung der Na-

*) Unter regelmäßig ist diejenige Art der Magnetisirung zu verstehen, bei welcher der Nordpol so zu liegen kommt, wie er nach der Seite 179. gegebenen Regel vorausbestimmt werden kann; unter unregelmäßig eine Magnetisirung im entgegengesetzten Sinne.

Digitized by Google

deln betrifft, so findet ein Maximum für sie statt bei 5 Millimeter Abstand vom Drahte. Indeß war keines dieser Maxima so stark, wie der Sättigungszustand derselben Nadeln, der sich mittelst starker Magnete hervorrufen ließ.

Fechner bemerkt aus Savary's Abhandlung: Eine verschiedene Länge der Nadeln bei übrigens gleichbleibenden Umständen scheint keinen Einfluß auf die Abstände, bei denen eine Abwechselung der Magnetisirungsart erfolgt, zu haben; dagegen ist Grad der Härtung und Dicke der Nadeln, Länge und Dicke des Drahts, und Stärke des Entladungsdrahtes hierauf und auf die Größe des größten Maximums, was sich erlangen läßt, vom wichtigsten Einfluß. Es ergeben sich in diesem Bezug nachstehende Folgerungen aus Savary's Versuchen. Bei gleichbleibender Drahtlänge und Entladung gibt es einen Durchmesser des Drahtes, bei welchem das Maximum der Magnetisirung den größten Werth erlangt*); bei größerem oder geringerem Durchmesser ist dieß Maximum kleiner. Umgekehrt, wenn Entladung und Drahtdicke dieselben bleiben, so findet man eine Länge des Drahts, für welche das Maximum größer ist, als für jede andre, größre oder geringere, Länge. Länge und Dicke, welche so die stärkste Magnetisirung geben, sind, die erstere um so kleiner, die andre um so größer, als der Draht ein schlechterer Leiter ist. Das (größte) Maximum der Magnetisirung liegt um so weiter vom Drahte, und in dem Zwischenraume ist die Zahl der Abwechselungen um so beträchtlicher, je geringer die Länge des Drahts im Verhältniß zu seiner Dicke ist**).

Schweigger führt diese Abwechslungen des magnetisirenden Einflusses eines elektrischen Drahtes dadurch auf die allgemeine Regel, welche S. 179. angegeben worden, zurück, daß er annimmt, die Elektricität bringe, indem sie durch den Draht hindurch gehe, durch Vertheilung Zonen abwechselnd entgegengesetzter Elektricität in ihrem Umkreise hervor. Dann würde in einer gewissen Entfernung von dem durch die Elektricität durchströmten Drahte ein diesem ersten entgegengesetzter elektrischer Strom anzunehmen sein, in Bezug auf welchen die Magnetisirung der Regel entspräche; auf diesen folgte dann wieder ein in der Richtung des ersten Stromes gehender Strom u. s. w. Es würden also in Bezug auf Vertheilung bei der strömenden Elektricität

---

*) Es kann bis zur Sättigung der Magnetnadeln steigen.

**) Ist die Länge des Drahtes groß im Verhältniß zu seiner Dicke, so verschwinden die Abwechslungen ganz; so bei einem Platindraht von 1 Meter Länge und $\frac{1}{2}$ Millimeter Dicke (bei Anwendung ähnlicher Nadeln als oben beschrieben, und ziemlich gleichen Entladungsschlägen). Das Maximum der Magnetisirung lag hier bei 11 Millimeter Entfernung vom Drahte. — Dagegen wechselte die Magnetisirung 4 mal bei einem Platindrahte von 1 Meter Länge und $\frac{1}{4}$ Millimeter Dicke (bei übrigens gleichen Umständen), und das letzte und zugleich größte Maximum lag in $4\frac{1}{2}$ Cent. Entfernung vom Drahte.

Digitized by Google

ähnliche Erscheinungen statt finden, wie bei der in elektrischer Spannung befindlichen. Vergl. d. Art. Elektricität S. 102. ff.; und bes. d. Art. Magneto-Elektricität.

Ganz in entsprechender Weise, wie durch den elektrischen Schlag, lassen sich auch durch den einfachen Schließungsdraht eines galvanischen Apparates Nadeln magnetisch machen und nach dem oben angeführten Gesetze läßt sich die Richtung der magnetischen Pole vorherbestimmen. Die Savary'schen Umkehrungen sind zwar bis jetzt für den galvanischen Schließungsdraht noch nicht nachgewiesen worden, finden indeß vermuthlich auch für diesen statt. Fechner führt einen interessanten Versuch von Arago an.

Arago brachte in dem schließenden Messingdrahte an drei verschiedenen Stellen schraubenförmige Windungen an, jede in einer Länge von 5 Centimeter (nahe 2 Zoll); die erste dieser Spiralen war rechts, die zweite links, die dritte wieder rechts gewunden*), und zwischen ihnen befanden sich gradlinige Theile des Drahts. Es wurde nun von einem Stahldrahte von $\frac{1}{2}$ Millimeter Dicke ein geradliniges Stück genommen, das so lang war, daß es vom Anfange der ersten bis zum Ende der dritten Spirale reichte. Dies ward in eine Glasröhre gesteckt und diese in die drei Spiralen gebracht. Als nun der galvanische Strom längs dieser Windungen kreiste, wurden die Theile des Stahldrahtes, welche sich in den Spiralen befanden, grade so magnetisch, als hätten sie von einander getrennt in den einzelnen Spiralen gelegen, denn dieser Draht zeigte bei der Untersuchung am einen Ende einen Südpol, 5 Centimeter weiter einen Nordpol, dann in einiger Entfernung noch einen Nordpol und 5 Centimeter davon einen Südpol, endlich wieder einen Südpol und 5 Centimeter weiter hin, am andren Ende, einen Nordpol. Man kann also beim Magnetisiren eines Stahlstabes, durch dieses Verfahren, zwischen den beiden Endpolen so viele zwischenliegende Pole oder Folgepunkte, als man will, erzeugen.

Eine der überraschendsten, großartigsten und vielleicht noch sehr erfolgreichen Anwendungen der magnetisirenden Kraft des elektrischen Leitungsdrahtes auf Eisen hat zuerst Sturgeon im Jahre 1825 gemacht, dessen Versuch zuerst von Pfaff und Moll nachgeahmt wor-

*) Fechner bemerkt bei Gelegenheit der Anführung dieses Versuches: Um zu wissen, was man unter einer rechts und links gewundenen Schraube versteht, diene folgende Erläuterung. Man denke sich den Schraubencylinder horizontal vor sich gelegt, so daß seine Axe senkrecht auf der Breite unsres Körpers sei. Sie wird rechts gewunden sein, wenn man dadurch von ihrem nächsten zum entferntesten Ende gelangt, daß man den Finger auf den obersten Punkt ihrer Basis aufsetzt, dann nach rechts damit, unter die Schraube hin, von da nach links und wieder nach Oben, u. s. f. immer den Windungen der Schraube folgend, geht. Sie wird dagegen links gewunden sein, wenn man erst mit dem Finger nach links, unter die Schraube hin, u. s. f. gehen muß, um zum entferntesten Ende zu gelangen.

Digitized by Google

den. Wenn man nämlich einen Stab von weichem Eisen mit einem Metalldrahte spiralförmig umwindet, so daß die Windungen weder unter einander noch mit dem Stabe in leitender Verbindung stehen und durch den Draht mittelst eines großplattigen einfachen galvanischen Apparates einen starken elektrischen Strom gehen läßt, so erhält der Eisenstab in dem Augenblicke, wo der Kreis geschlossen wird, eine außerordentlich starke magnetische Kraft. Pfaff bediente sich bei seinen Versuchen des Fig. 48. abgebildeten Apparates. D stellt einen oben hakenförmig gebogenen Messingstab vor, welcher in den Tisch C eingeschraubt ist und dazu dient, das hufeisenförmig gebogene weiche cylindrische Eisen M zu tragen, um welches spiralförmig der Kupferdraht m n gewunden ist, dessen Enden in die Quecksilbergefäße c, c' übergehen, in welche die Pole einer galvanischen Kette geleitet werden. Pfaff bemerkt: „Es gränzt an Zauberei in dem Augenblicke, daß man mit einem der Drähte den Kreis schließt und so den elektrischen Strom einleitet, selbst aus einiger Entfernung den mit 8 Pfund und darüber beschwerten Anker angezogen zu sehen, der eben so augenblicklich wieder abfällt, wenn der Kreis unterbrochen wird. Das weiche Eisen verliert diesen seinen so kräftigen Magnetismus fast gänzlich in sehr kurzer Zeit, und schon nach einigen Minuten zieht es höchstens noch einen kleinen Schlüssel an."

Viel weiter sind indeß diese Versuche von Joseph Henry und Ten Eyck geführt worden, worüber Berzelius Folgendes berichtet: „Einen 3 Zoll dicken und 30 Zoll langen vierseitigen Stab von schwedischem Eisen ließen sie zu einem 11½ Zoll hohen Hufeisenmagnet biegen, dessen Enden 3½ Zoll weit von einander entfernt waren. Die Kanten waren vor der Biegung zu einem achtseitigen Prisma von 10½ Zoll Perimeter abgeplattet worden. Das Hufeisen wog 59½ Pfund. — Statt dasselbe mit einem einzigen Stück Metalldraht zu umwinden, wurden 26 übersponnene Drähte von gewöhnlichem Kupferdraht, jeder von 31 Fuß Länge, angewendet; mit jedem einzelnen wurde ein nicht völlig 1 Zoll großes Stück des Eisens umwunden, indem von jedem Ende des Drahtes 9 Zoll frei gelassen wurden, so daß von jedem Draht nur 28 Fuß um das Eisen gewunden waren. Die Umwindungen wurden nahe an dem einen Polende angefangen, und der Draht daselbst so aufgewunden, daß sechs Windungen über einander zu liegen kamen; in der Mitte kamen nur 3 Windungen über einander. Auf diese Weise wurde nun das Hufeisen mit 26 einzelnen elektromagnetischen Multiplicatoren umgeben, deren ganze Länge zusammen 728 Fuß Draht betrug. Alle zuführenden Enden der Spiralen wurden in ein einziges zusammen gelöthet, und eben so alle die wegführenden, so daß sich die Elektricität durch alle Spiralen auf einmal frei vertheilte, wenn die zusammengelötheten Enden mit einem hydroelektrischen Paar in Verbindung gesetzt wurden. Der Anker wurde aus einem 9½ Zoll langen Stücke desselben Stabes gemacht, vor der Berührung mit den Polen des Hufeisens wohl abgeschliffen, und in der Mitte mit einem Einschnitte versehen, um das Gewicht genau in der Mitte aufhängen zu können. Mit einem hydroelektrischen Paar aus Zink und Kupfer

Digitized by Google

von $\frac{2}{3}$ Quadratfuß, trug dieser Magnet mehr als 500 Pfund; mit $1\frac{1}{3}$ Quadratfuß trug er 1600, und mit einem Paare von $4\frac{7}{9}$ Quadratfuß trug er 2000 Pfund, nachdem er im ersten Augenblicke 2063 Pfund getragen hatte. Einige Minuten nach Oeffnung der Kette trug er noch 450 Pfund, und nach 3 Tagen waren zur Losreißung des Ankers ungefähr noch 150 Pfund erforderlich. Bei Anwendung von zwei besonderen Paaren in der Art, daß man eine umgekehrte Combination mit dem einen Paare machte, während zugleich die Gemeinschaft mit dem anderen umgewechselt wurde, wechselte die Polarität so rasch, daß bei der Umwechselung ein Gewicht von 86 Pfund getragen wurde.

Versuche mit sehr kleinen elektromatorischen Apparaten zu Hervorbringung dieser Erscheinungen hat Moll angestellt. Unter andern bediente er sich eines kleinen kupfernen Troges, in welchen eine Zinkplatte von $\frac{7}{8}$ Quadratzoll Oberfläche eingetaucht wurde. Dieser Apparat setzte ein Hufeisen von weichem cylindrischen Eisen, 51 Millimeter im Durchmesser haltend, mit Seide bekleidet, von zwei Spiralen nackten Eisendrahtes von 5 Millimeter Durchmesser umwunden und sammt dem Drahte beinahe 29 Pfund wiegend — in Stand, bei aufeinander folgenden Versuchen, 12, 39 und 48 Pfund zu tragen. Moll machte in ein Stück Holz zwei Einschnitte und stellte in dieselben eine Kupfermünze und eine Zinkplatte, beide von 14 Millimeter im Durchmesser, der Zwischenraum war mit einer leitenden Flüssigkeit ausgefüllt. Als dieser kleine Apparat mit der Spirale des Hufeisens verbunden wurde, theilte er diesem eine Tragkraft von $6\frac{3}{4}$ Unzen mit. Als eine andre Kupfermünze von 21 Millimeter Durchmesser mit einer eben so großen Kupferplatte angewandt wurde, trug der Magnet 2 Pfund $5\frac{3}{4}$ Unzen. Eine Goldmünze von 22 Millimeter Durchmesser und eine Zinkscheibe von gleicher Größe gaben dem Magnet eine Tragkraft von $13\frac{3}{4}$ Unzen; eine Silberscheibe und eine Zinkscheibe, jede von 20 Millimeter Durchmesser, eine Tragkraft von 15 Pfund und 4 Unzen. In einen kleinen Holztrog brachte Moll zwei Kupferplatten, jede von 30 Quad. Centim. Oberfläche, verband sie durch einen Kupferstreifen und stellte eine Zinkplatte zwischen dieselben; der mit dem Apparate verbundene Magnet trug 80 Pfund. In einen kleinen Trog von Kupfer wurde ein Zinkstreifen von 70 Q. Cent. gestellt; der Magnet trug hintereinander 124 und 153 Pfund. Moll bemerkt: „Das Geheimniß zum Gelingen dieser Versuche besteht in der innigen Berührung der Platten mit den Spiralen, eine Berührung, welche nur durch Zusammenlöthung zu erreichen ist.“

Sehr lehrreiche Untersuchungen hat über die sogenannten Elektromagnete Dal Negro angestellt, deren wichtigste Resultate folgende sind:

1, Ein hufeisenförmiges Eisen, umwickelt mit einer gewissen Anzahl Drahtwindungen, trug nur halb so viel als bei Umwicklung mit der doppelten Zahl von Windungen, und es war einerlei, ob die einfache Anzahl über das ganze Eisen vertheilt wurde, oder nur auf die Hälfte desselben, einerlei, ob (wenn man sich das Hufeisen seiner Länge nach in vier gleiche Theile a, b, c, d getheilt denkt, von denen b und c die Mitte und a und d die Enden einnehmen) a und b, oder b und c,

Digitized by Google

oder a und d mit dieser einfachen Zahl von Windungen umgeben wurden. — Eben so bekam das Hufeisen die ganze Tragkraft, es mochte die doppelte Zahl von Windungen aus einem einzigen Drahte bestehen oder aus zwei Drähten, von denen einer b und c, und der andre c und d umgab. — Hatte ein Hufeisen durch Umwicklung mit einer Spirale die Kraft =1 erhalten und wurde nun eine zweite eben solche Spirale hinzugefügt, die in die Zwischenräume der ersten gelegt, und wie diese mit derselben Voltaschen Kette verbunden war, so stieg die Kraft auf $\frac{4}{3}$ und $\frac{5}{4}$. Bei Hinzufügung einer dritten, mit derselben Kette verbundenen Spirale zeigte sich indeß bald eine Verstärkung bald eine Verminderung der Kraft.

2, Zwei Hufeisen, beide von gleichem Eisen, gleichem Gewichte, gleicher Länge, gleicher Biegung und gleicher Entfernung der Pole, aber das eine prismatisch und das andre cylindrisch gestaltet, wurden mit gleichviel Windungen eines gleichdicken Drahts umwickelt und einem gleichen elektrischen Strom ausgesetzt. Das cylindrische Eisen trug nun 18,2 Kilogrm., das prismatische dagegen nur 1,07 Kilogrm. — Ein parallelepipedischer Stab erhielt mit kreisförmigen Spiralen keine größre Kraft als mit viereckigen. Ein cylindrischer Stab dagegen gab mit viereckigen Spiralen eine etwas kleinere Wirkung, wohl nur wegen verminderter Anzahl der Berührungspunkte zwischen der Spirale und dem Eisen. — Hohle Cylinder wurden vergeblich zu magnetisiren versucht.

3, Drei Cylinder von gleichem Eisen und gleichem Gewicht, aber hinsichtlich der Länge in dem Verhältniß 1 : 2 : 3 stehend, wurden mit beinah gleich viel Drahtwindungen umgeben. Die Tragkraft, welche sie durch einen schon etwas geschwächten Elektromotor bekamen, stand im Verhältniß 5 : 6 : 4. Es scheint also für jedes Gewicht eine gewisse Länge zu geben, bei welcher die Eisenmasse das Maximum der Tragkraft erlangt.

4, Die Politur der Hufeisen war ohne Einfluß, so lange man dasselbe oder den Spiraldraht mit Seide umgab.

5, Auch die Entfernung der Pole des Hufeisens von einander hatte keinen Einfluß, so lange sie nicht kleiner als ein Pariser Zoll war; dann aber verstärkte sie die Tragkraft um ein Zehntel. Größre oder geringre Länge des Ankers war gleichgültig hierbei.

6, Die Tragkraft der Hufeisen wächst mit der Masse derselben, ferner mit dem Gewicht der Anker und auch mit der Form der Fläche, mit der diese das Hufeisen berühren. Ist diese Fläche conver, so trägt das Eisen mehr als wenn sie flach ist. Folgende Tafel zeigt den Einfluß des Gewichts der Hufeisen (A wog 1,5, B 0,35 und C 0,292 Kilogrm.), der Form der Berührungsfläche des Ankers für zwei verschiedene Elektromotore, deren Zinkplatte bei dem kleineren $\frac{1}{4}$, und bei dem größeren $2\frac{1}{4}$ Paris. Quadratfuß enthielt. Die Hufeisen waren mit zwei Drähten umwickelt, deren jeder für sich mit dem Elektromotor verbunden war.

Digitized by Google

	Kleinerer Elektromotor				Größerer Elektromotor			
	flacher Anker		converer Anker		flacher Anker		converer Anker	
	Getragenes Gewicht in Kilogrammen							
	mittler.	größtes	mittler.	größtes	mittler.	größtes	mittler.	größtes
A	9,60	13,00	16,80	22,75	19,22	19,75	36,33	41,00
B	7,50	9,00	7,80	11,70	14,25	16,00	11,50	12,75
C	4,62	4,75	8,33	10,50	9,50	10,00	11,60	11,50

Der Einfluß des Gewichts der Hufeisen auf die Tragkraft derselben ergab sich noch aus einigen andren Versuchen. Zu diesen wurden zwei Hufeisen P und Q angewandt, und mit dem größeren der eben erwähnten Elektromotoren verbunden. P wog 2,4 Kilogrm.; und trug im Maximo 75,5 Kilogrm., im Mittel 61 Kilogrm.; Q wog 2,6 Kilogrm., und trug im Maximo 86,5 und im Mittel 76 Kilogrm. Ein größrer Elektromotor von 4½ Quadratfuß Zinkfläche gab Q keine größere Tragkraft, nämlich im Maximo eine von 78 Kilogr. und im Mittel von 66,6. (Als es darauf wieder mit dem ersten Elektromotor verbunden ward, trug es im Maximo nur 71 Kilogrm. und im Mittel 66 Kilogrm., also weniger wie zuvor.) Derselbe größere Elektromotor gab einem dritten Hufeisen R von 5 Kilogrm. Gewicht, bei Anwendung eines 1 Kilogrm. schweren Ankers, eine Tragkraft von im Maximo 101 Kilogrm. und im Mittel 90 Kilogrm., bei Anwendung eines 2 Kilogrm. schweren Ankers, eine Tragkraft von im Maximo 117 Kilogrm. und im Mittel 108 Kilogrm. —

7, In Betreff des Metalls der Spiraldrähte zeigte sich, daß ein Eisendraht eine Tragkraft von 1,8 Kilogrm. hervorrief, unter gleichen Umständen, unter denen ein Kupferdraht eine Tragkraft von 5,9 K. erregte. — Moll fand umgekehrt eiserne Drähte wirksamer als kupferne, aber nur deßhalb, weil derselbe, wie Dal Negro bemerkt, vernachlässigte, den Kupferdraht vom Eisen zu isoliren.

8, Diese Isolirung ist nämlich von bedeutendem Einfluße. Eine unmittelbar auf das Hufeisen gewickelte Spirale gab Dal Negro eine Tragkraft von im Maximo 18 und im Mittel 16 Kilogrm.; eine andere, durch Seide vom Eisen isolirte dagegen im Maximo 26 Kilogrm. und im Mittel 25,46 Kilogrm. Tragkraft.

9, Dickere Drähte gaben bis zu einer gewissen, von der Stärke des Stroms bedingten Gränze hinauf eine größre Tragkraft als dünnere.

10, Mehre Drähte gleichzeitig um das Eisen gewickelt, einmal in parallelen, ein ander Mal in sich durchkreuzenden Windungen, gaben das Resultat, daß die parallelen Windungen am kräftigsten wirkten.

Digitized by Google

Indem ich die übrigen weniger bestimmten und entschiedenen Resultate der Versuche von Dal Negro übergehe, führe ich nur, weil es für die Folge von Wichtigkeit werden kann, noch dasjenige an, was Dal Negro über seine Versuche bemerkt, in denen er die durch Elektricität vorübergehend erzeugte große magnetische Kraft zu Betrieb einer Maschine anzuwenden bemüht war, indem er darauf ausging, durch diese Kraft einen Hebel in Bewegung zu setzen. Zuerst wendete Dal Negro eine stählerne magnetisirte Hebelstange an, indem er sie vertical unter ein Ende eines zeitweiligen Magnetes (so nennt Dal Negro einen durch den elektrischen Strom vorübergehend magnetisch gemachten Eisenstab) stellte. Diese oscillirte vermöge der Anziehungen und Abstoßungen, die zwischen dem Südpol der Stange und dem Nord- und Südpol des zeitweiligen Magnetes stattfanden. Auf gleiche Weise läßt sich auch eine Bewegung in der horizontalen Ebene hervorbringen. Er setzte eine solche Stange auch dadurch in Bewegung, daß er ein Eisenstück auf ein Ende des Hebels fallen ließ, indem es sich von einem vorübergehenden Magnet in dem Augenblick losmachte, als seine Kraft $=0$ war, hierauf aber von demselben wieder aufgezogen wurde. Dieses kann man auf zweifache Weise bewerkstelligen. Die erste Art läßt sich anwenden, wenn es sich um eine schnelle Bewegung, die zweite, wenn es sich um einen starken Stoß handelt; im ersten Falle entfernt sich das Gewicht nur merklich aus der Wirkungssphäre des Magnetes, denn kaum stößt das Gewicht an den Hebel, so zieht es der Magnet an, um es wieder fallen zu lassen, und da ist dieses Gewicht stets sehr klein im Vergleich mit jenem, das der Magnet bei der Berührung tragen kann. Im zweiten Falle wendet man gleichsam die ganze Last an, welche der Magnet tragen kann, und benutzt den Stoß, um sie mit dem Magnete in Berührung zu bringen. Dieses kann auf mehre Arten geschehen. Einer derselben liefert einen elektromagnetischen Widder von großer Wirkung. Dal Negro hat eine nähere Beschreibung der Wirkungen dieses neuen Apparats versprochen, bis jetzt aber, so viel ich weiß, noch nicht gegeben.

Ein Apparat, welcher mit dem zuerst angedeuteten von Dal Negro Aehnlichkeit hat, ist von Henry ausgeführt und elektromagnetisches Pendel genannt worden. Fig. 49. stellt denselben dar.

C und D sind zwei vertical stehende Magnete, deren aufwärts gekehrte Pole entgegengesetzter Natur sind; AB ist ein um eine horizontale Axe beweglicher Cylinder aus weichem Eisen, mit Kupferdraht spiralförmig umwunden, ein Ende dieses Drahtes ist an or angelöthet, das andre an pq; G und F sind zwei Gefäße, in deren jedem sich eine Zink- und Kupferplatte und eine leitende Flüssigkeit befindet. Sowohl jede Zink- als jede Kupferplatte trägt eine Schale mit Quecksilber, die zur Aufnahme der Drahtenden o und p, q und r bestimmt ist. Wird nun der Balancier AB so geneigt, daß sich o und p in das Quecksilber der Schälchen l und m tauchen, so geht ein elektrischer Strom durch das Eisen AB, magnetisirt es, und wenn die Richtung der Spiralwindungen die rechte ist, um A zu einem Pol zu machen,

Digitized by Google

der mit dem Pole C gleichnamig ist, so erfolgt eine Abstoßung; der Hebelarm, an dem sich o und p befinden, hebt sich, die Drähte o und p treten aus dem Quecksilber der Schälchen l und m, dafür senken sich q und r in die Schälchen s und t, es beginnt abermal ein elektrischer Strom, der AB magnetisirt, aber dem vorigen entgegengesetzt ist, mithin eine Abstoßung zwischen B und D, hingegen eine Anziehung zwischen A und C bewirkt, und so den ersten Zustand des Hebels AB wieder zurückführt, auf welchen nothwendig der zweite folgen muß, u. s. f.; demnach schwankt der Hebel AB so lange auf und ab, als der elektrische Strom die nöthige Kraft hat.

Während man bisher gewöhnlich das zu magnetisirende weiche Eisen mit einer Drahtspirale umwand, hat Joslin sich statt der Drahtspirale eines Metallbleches bedient. Er nahm ein $8\frac{1}{4}$ Zoll langes Stück von einem eisernen Flintenlaufe, dessen äußerer Durchmesser nahe $\frac{3}{4}$ Zoll war und dessen Wanddicke zwischen $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{8}$ Zoll wechselte, und umwand ihn mit einem Streifen Kupferblech, der 3 Fuß lang und $7\frac{3}{4}$ Z. breit war, so daß derselbe das Eisen spiralförmig umschlang, und eine Windung von der anderen durch eine Lage Seidenzeug getrennt war. Von jedem der vier Ecken des Bleches gingen eigens angelöthete Kupferstreifen aus, und je zwei derselben, nämlich jene, die zu dem inneren, dem Eisen nächsten Ende und jene, die zu dem äußern Ende gehörten, communicirten mit einem Pole des Elektromotors, der aus einem Zinkkupferelemente bestand und $\frac{1}{2}$ Q. Fuß Oberfläche hatte. Das Eisen wurde durch besondere im Inneren des Laufes angebrachte Stäbe in horizontaler Richtung erhalten und ein halbkreisförmiger Bogen verband die beiden Enden desselben leitend mit einander, und vertrat die Stelle des Ankers. Der Magnet trug auf diese Weise $11\frac{1}{2}$ Pfund. Als das Kupferblech um $1\frac{1}{2}$ Fuß verlängert worden war und der ganze Streifen $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge hatte, stieg die Kraft des Magnetes auf 15 Pfund. Dieses war nahe das 47fache seines Gewichtes.

Im Allgemeinen nimmt dasjenige Eisen, welches am wenigsten geeignet ist, den Magnetismus längere Zeit fest zu halten, am leichtesten durch Elektricität vorübergehenden Magnetismus an. Ritchie hat Versuche mit verschiedenen Eisensorten angestellt von dem besten bis zu dem schlechtesten englischen Eisen und fand, daß das schlechteste (welches sich beim Bruch durch Porosität und krystallinisches Gefüge auszeichnet) am besten zu Verfertigung von Elektromagneten geeignet war. Da auch ein gewöhnlicher Hufeisenmagnet desto mehr trägt, von je schlechterem Eisen sein Anker ist*), so schlägt Ritchie vor, man solle, um zu prüfen ob eine Eisenart zur Verfertigung eines Elektromagneten tauglich sei, einen kleinen Anker daraus schmieden lassen und diesen an einem gewöhnlichen Hufeisenmagnete prüfen. Wird er stark vom Mag-

*) Ritchie fand, daß ein Hufeisenmagnet mittelst eines Ankers vom besten Eisen 14 Pfund, mittelst eines Ankers vom schlechtesten Eisen aber 27 Pfund trug.

Digitized by Google

net angezogen, so ist das Eisen zweckdienlich; wo nicht, so muß es verworfen werden.

Bei allen diesen Versuchen, welches Eisen durch den elektrischen Strom vorübergehend zu magnetisiren, hat man sich in der Regel galvanischer Ströme bedient; durch Reibungselektricität mittelst der Elektrisirmaschine gelingt eine solche Erregung nur, wenn man den elektrischen Strom durch Einschaltung eines feuchten Leiters oder auf andre Weise verlangsamt, wie Dove aus mehren von ihm angestellten Versuchen schließen will. Indeß hat Grohmann durch den unmittelbar vom Conductor einer Elektrisirmaschine kommenden elektrischen Strom Eisen magnetisirt. Er hängte einen auf die gewöhnliche Art mit Kupferdraht umwundenen runden Stab aus weichem Eisen an einem Stativ auf, setzte das eine Ende des Spiraldrahtes mit dem positiven Leiter, das andre mit dem Reibzeuge einer sehr guten vollkommen isolirten, etwa 26 zolligen Scheibenmaschine in Verbindung und drehte die Scheibe, so daß der elektrische Strom vom Conductor durch die Spirale um das Eisen zum Reibzeuge gehen mußte. Nach mehren Drehungen zeigte das Hufeisen starke magnetische Polarität und trug über ein Pfund. Nach dem Aufhören des elektrischen Stromes verlor sich diese Kraft bald wieder.

Schon aus den oben angegebenen Wirkungen, welche ein elektrischer Strom gegen die Magnetnadel ausübt, wenn der den Strom leitende Draht fest steht und die Magnetnadel beweglich ist, läßt sich mit Gewißheit schließen, daß auf entsprechende Weise auch umgekehrt ein fest stehender Magnet auf einen beweglichen Draht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, von Einfluß sein müsse, indem der Magnet auf die Stellung des beweglichen elektrischen Stromes bedingend wirkt. Bald nach Oerstedʼs Entdeckungen mühten sich daher die Physiker, diesen Einfluß durch Experimente darzuthun und Schweigger war der erste, dem es gelang, Bewegungen des elektrischen Stromes durch den Magnet hervorzubringen. Am leichtesten von den vielen hierher gehörigen Apparaten läßt sich der von La Rive angegebene herstellen, Fig. 50. stellt denselben vor. a ist eine Korkscheibe, durch welche der Kupferstreifen K und der Zinkstreifen Z gesteckt sind, so daß sie ober- und unterhalb vorragen. Oberhalb sind sie bei b entweder unmittelbar oder mittelst eines dritten Metalles verbunden. Wenn man diesen Apparat in ein weites mit einer verdünnten Säure gefülltes Gefäß setzt, so daß die Korkscheibe schwimmt, während die unteren Theile des Kupferstreifens und des Zinkstreifens in die Flüssigkeit tauchen; so beginnt der elektrische Strom und ergießt sich in der durch die Pfeile in der Figur angegebenen Richtung. Läßt man nun den Apparat in Ruhe kommen und nähert ihm von Außen einen Pol eines starken Magnetes, so dreht sich der Ring und nimmt eine Stellung an, bei welcher die Magnetaxe senkrecht auf dem elektrischen Strome steht und der Nordpol sich zur linken des im Strome gedachten Beobachters befindet, ganz so, wie man nach dem S. 137. angegebenen Gesetze im Voraus vermuthen kann. Wenn man einen Magnet mit dem Nordpol in die Mitte des Ringes hält, so daß das Kupfer links, das Zink rechts vom Pole sich befindet, so wird der Ring angezogen und geht bis gegen die Mitte des Magnetes

Digitized by Google

hin. Wenn man dagegen auf gleiche Weise den Südpol nähert, so erfolgt eine Abstoßung.

Um den Einfluß eines Magnetes auf einen elektrischen Strom darzuthun, kann man auch des folgenden von Erman angegebenen Apparates sich bedienen. Ein im Durchschnitt gezeichneter Becher vom dünnsten (damit er so leicht als möglich sei) Silber oder Kupfer a b, Fig. 51. hat vom Boden aus den aufwärtsgehenden hohlen Cylinder c d, so daß also beide Cylinder einander parallel laufen. Die innere Röhre, zwischen $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmesser haltend, ist etwas höher und hat oben einige kleine Löcher, mit den durchgezogenen und festgebundenen Seidenfäden a', a', welche in einen, zum Tragen des Apparats hinreichend starken, ungezwirnten Seidenfaden b' vereinigt sind, der irgendwo angeknüpft wird. Am Boden des äußern, größren Cylinders von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser liegt eine so durchbohrte dünne Glasscheibe, daß der innere Cylinder bequem durch die Oeffnung derselben geht. Auf dieser isolirenden Glasscheibe ruht der hohle Cylinder e e von Zink und der Zwischenraum zwischen beiden Metallen wird mit stark leitender Flüssigkeit gefüllt (schwefelsaure Zinkauflösung wird besonders empfohlen). Der obere Rand des äußren Cylinders hat bei l ein kleines angelöthetes Blech mit einer Vertiefung, worin sich ein Tropfen Quecksilber befindet, um das eine, etwas herabwärts gebogene, Ende des Drahtes l m n o p s hineinzutauchen, während das andre s in dem Quecksilbertropfen eines ähnlichen kleinen Bleches am Cylinder von Zink ruht. Der elektrische Strom geht hier durch den Draht in der Richtung l m n o p s. Die Richtung, nach welcher dieser Draht durch den Pol eines Magnetes hinbewegt werden wird, läßt sich, je nachdem man den Magnet mit seinem Nord- oder Südpole von oben oder von unten, rechts oder links nähert, vorherbestimmen, wenn man überlegt, wie wenn der Draht fest stände, der Magnet aber beweglich wäre, dieser abgelenkt werden würde. Der Draht wird natürlich auf die entgegengesetzte Seite abgelenkt.

Da die Erde selbst wie ein Magnet wirkt, so läßt sich voraussehen, daß sie auch auf einen beweglichen Leitungsdraht ähnliche Wirkungen hervorbringen werde, wie ein Magnet und in der That bestätigen dieses auch die Versuche. Wenn man nämlich einen Polardraht so aufhängt, daß er sich um eine verticale Axe bewegen kann, so stellt sich derselbe durch den Einfluß des Erdmagnetismus in eine auf dem magnetischen Meridiane senkrechte Richtung oder parallel mit dem magnetischen Aequator. Um dieses zu zeigen kann man nach Baumgartner folgenden Apparates sich bedienen. A (Fig. 52.) ist ein hölzerner Rahmen, welcher oben und unten in der Verlängerung seines verticalen Durchmessers mit feinen Metallspitzen a und b versehen und von Außen mit einem dünnen, mit Seide überspannenen Metalldrahte 10 bis 20 mal umwunden ist, (so daß das Ganze einen um a und b beweglichen Multiplicator vorstellt, dessen Enden mit a und b verbunden sind). B ist ein hölzernes Gestelle, welches in c und d mit Metallplättchen belegt ist; oben hat es eine feine, nach auf-

Digitized by Google

wärts sich schnell erweiternde Oeffnung, welche der Spitze a als Pfanne dient und mittelst eines in der Oeffnung enthaltenen Queckſilbertropfens in inniger Berührung mit a erhalten wird. Das untere Plättchen hat blos eine Vertiefung, um einen Queckſilbertropfen und b aufnehmen zu können. So bald man das obere und untere Metallplättchen des Geſtelles mit den Polen einer thätigen Volta'ſchen Säule in Verbindung ſetzt, ſtellt ſich alsbald der Ring ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian.

Statt des oben beſchriebenen kann man ſich auch eines von Schweigger angegebenen Apparates bedienen. In Fig. 53. ſei a ein Hut aus Meſſing gearbeitet, welcher auf der Stahlſpitze i ſchwebt und mit dem Becher c durch Siegellack verbunden, alſo von ihm iſolirt iſt. Die Hebelarme ab an dem Hute und cd am Becher angelöthet, halten ſich das Gleichgewicht, und es kann noch ſenkrecht auf dieſelben ein Draht angebracht ſein, um durch ein daran verſchiebliches kleines Gegengewicht dem Multiplicator das Gleichgewicht zu halttn, deſſen eines Ende mit ab, das andre mit cd in leitender Verbindung ſteht. In das Queckſilber des Bechers c taucht die, an einem paſſenden Stative*) befeſtigte, Kupfernadel mn, welche man mit dem einen Pole in Verbindung ſetzt, während die Kupferſpitze ih, auf welcher das Hütchen a ruht, mit dem andren Pole in Verbindung ſteht. Der Multiplicator, durch welchen die Elektricität ſtrömt, nimmt die angegebene Stellung an.

Wenn ein Polardraht um eine horizontale Axe beweglich iſt, ſo ſtellt ihn der Erdmagnetismus in eine auf den magnetiſchen Aequator ſenkrechte Ebene. Zum Beweiſe nehme man (nach Baumgartner) einen leichten hölzernen Rahmen a (Fig. 54.), welcher mit zwei einander gegenüberſtehenden dünnen Metallſtiften verſehen iſt, die als Drehungsaxen dienen, umwinde ihn mit feinem überſponnenen Drahte, befeſtige ein Ende deſſelben an einem, das andre am zweiten Stifte, ſorge, daß der Schwerpunkt des Ganzen in der Drehungsaxe liege, bringe es auf die verticalen Träger b, die oben eine Art Pfanne bilden, und leite einen elektriſchen Strom durch den Draht des Rahmen ſo, daß derſelbe durch einen Stift in den Draht gelange und von dieſem wieder in den zweiten Stift. So bald dieſe Strömung beginnt, bemerkt man, daß der Rahmen in die angegebene Lage ſich ſtellt.

---

*) Das Stativ kann entweder an einem Tiſche angeſchraubt werden, oder auf einem mit Blei ausgegoſſenen Fuße feſt ſtehen. Es kann von Holz ſein, eben ſo wie der Arm deſſelben qp, der aufwärts und abwärts verſchieblich und bei q feſt zu ſtellen iſt. Die Nadel mn iſt mit einer Schraube verſehen, um gleichfalls beliebig höher oder tiefer geſtellt werden zu können. Am bequemſten iſt der ganze Theil op von Kupfer, vorwärts und rückwärts, ſo wie rechts und links, verſchiebbar, und wird mittelſt einer Schraube o feſtgeſtellt, wodurch man zugleich den die Elektr. zuleitenden Kupferdraht anſchrauben kann.

Digitized by Google

Der Erdmagnetismus stellt also einen Polardraht, der um eine Axe beweglich ist, so daß der elektrische Strom auf der magnetischen Axe der Erde senkrecht steht und sich wieder derjenige ihrer Pole, welcher mit dem Nordpole einer gewöhnlichen Magnetnadel gleichartig ist, (also ihr Südpol) zur Linken des im Strome befindlich gedachten Beobachters befindet.

Alle die bisher erwähnten elektromagnetischen Erscheinungen gewinnen an Einfachheit und Uebersichtlichkeit durch eine von Ampère aufgestellte Hypothese über das Wesen des Magnetismus, welche auf die Wirkung elektrischer Ströme auf einander sich begründet. Dieses Verhalten elektrischer Ströme gegen einander ist zuerst von Ampère entdeckt und auf bestimmte Gesetze zurückgeführt worden.

Fig. 55. ist ein Draht, der zu einem Rechteck gebogen, zu gehöriger Befestigung bei K durch ein lackirtes Holzstück so gehalten wird, daß sich seine beiden Enden nicht berühren und dessen beiden Enden A und B in Spitzen umgebogen sind, welche vertical über einander hängen. Fig. 56. ist ein Tisch mit einem senkrecht aufgerichteten Gestell XTTY, von dem in der Mitte das Brettchen H wagerecht ausgeht. In dieses Brettchen ist eine Vorrichtung angebracht, welche Fig. 57. noch einmal im Durchschnitte vorstellt. CB und ZA sind nämlich, wie Figur zeigt, gebogene Metallstäbchen, oben und unten mit kleinen Bechern versehen und in den isolirenden Träger U befestigt. In die kleinen Becher kommt Quecksilber und darauf werden in C und Z die Drähte ZV und CILR eingesenkt, welche die Enden der Leitungsdrähte sind, die von einem elektromotorischen Apparate ausgehen. Nun wird der in Fig. 55. besonders dargestellte Draht, wie Fig. 56. zeigt, mit seinen Endspitzen in die vertical über einander stehenden kleinen Becher A und B aufgehängt. Nach Schließung der Kette durchläuft nun der elektrische Strom die Drähte, wie die Pfeile angeben, in der Richtung VZADFGMBQCILR. In den Theilen DF und IL nimmt folglich der elektrische Strom dieselbe Richtung und man bemerkt, daß das bewegliche Rechteck DMGF mit seinem Theile DF angezogen wird. Verwechselt man dagegen die beiden Leitungsdrähte VZ und IC so, daß jener in den Becher C und dieser in den Becher Z taucht, so nimmt der Strom die Richtung CQBMGFDAZ, hat also in FD die entgegengesetzte Richtung von der, welche er in IL hat und man bemerkt, daß nun DF von IL abgestoßen wird. Die eben gemachte Beobachtung gibt den allgemeinen Satz: Zwei parallele Leiter werden, wenn die Ströme in ihnen dieselbe Richtung befolgen, von einander angezogen; wenn dagegen die Ströme in ihnen entgegengesetzte Richtungen befolgen, von einander abgestoßen.

Bei dem eben erwähnten Apparate ist es derselbe elektrische Strom, welcher in den Theilen der ganzen Leitung IL und DF Anziehung oder Abstoßung, je nachdem er in ihnen dieselbe oder entgegengesetzte Richtung hat, bewirkt. Man kann sich indeß auch zweier ver-

schiedener elektromotorischer Apparate bedienen und wird die Bestätigung des angegebenen Satzes finden. Fechner theilt hierzu folgenden von Sturgeon angegebenen Apparat mit. C′ (Fig. 58.) ist ein metallener Stab, der oben durch ein metallenes Schälchen x hindurchgeht, welches jedoch vom Stabe isolirt ist, zu welchem Zwecke Schale und Stab, wo sie sich berühren, gut lackirt sein müssen. Auf dem obern Ende des Stabes ist der rechtwinklig gebogene Draht C″ Z′ Z aufgehangen, in der Art, daß die abwärts gebogene (amalgamirte) Spitze des Armes C″*) auf diesem oberen Ende (in einer Vertiefung) ruht, während die Spitze des Armes Z sich in das Quecksilber, womit die Schale x gefüllt ist, herabbiegt. Beide Arme sind an dieser Stelle zwar zusammengebunden, jedoch durch den dazwischen laufenden seidenen Faden von einander isolirt. An C′ ist das mit Quecksilber gefüllte Schälchen C befestigt, das mit dem einen, z. B. dem negativen, Pol eines Apparats in Verbindung gesetzt wird, während der andre Pol mit der Schale Z″ communicirt, die durch den Stab Z′, der von C′ isolirt sein muß, mit dem Schälchen x in Verbindung steht.

Solchergestalt durchläuft der Strom den Weg Z″ Z′ Z x C″ C′ C. Nähert man nun diesem Leiter den Schließungsdraht eines andren galvanischen Apparats, wie ihn die gleich nebenanstehende Fig. 59. darstellt**), in paralleler Lage, so werden sich die Anziehungen und Abstoßungen je nach der Richtung des Stroms auf die angegebene Weise äußern.

Da man bei den eben angegebenen Experimenten starker elektromotorischer Apparate sich bedienen muß, so hat Schweigger einen Apparat angegeben, wo durch Multiplicatoren die Wirkungen schwacher Ströme so verstärkt werden, daß sie auch bei schwachen Apparaten wahrnehmbar werden.

In Fig. 60. ist a b ein Metalldraht, welcher auf der metallenen Spitze i mittelst eines metallenen Hütchens beweglich ist. c d ist ein andrer, an dem Schälchen c befestigter, Metalldraht. Das Schälchen c ist auf dem Hütchen a durch Siegellack aufgekittet, so daß die leitende Verbindung zwischen beiden unterbrochen ist. Im Schälchen c befindet sich ein Tropfen Quecksilber, worein die Spitze des einen Leitungsdrahtes m n taucht. Der Draht m n ist mit einer Schraube versehen, um beliebig in den Quecksilbertropfen des kleinen Bechers c eingetaucht werden zu können; und bei o ist eine Stellschraube, um die Bewegung rechts und links in seiner Gewalt zu haben. Die Enden b und d der Drähte werden durch einen Multiplicatordraht, der auf die in der Figur vorgestellte Weise gewunden ist, verbunden, und ein andrer gewundener Multiplicator wird mit einem Ende h mit dem me-

*) Diese Spitze ist wegen der davor befindlichen Spitze des Armes Z in der Figur nicht sichtbar.

**) Er besteht aus einem Zinkcylinder, der sich in einem unten verschlossenen Kupfercylinder befindet, auf dessen Boden er jedoch nur mittelst isolirender Füße ruht. Zwischen beide Cylinder wird verdünnte Säure gegossen und die Schließung durch den Draht y bewerkstelliget.

Digitized by Google

talliſchen Träger des Apparats, mit dem andren mit dem Leitungsdrahte des anderen Pols in Verbindung geſetzt, wo dann der Strom, wenn mn der poſitive Draht iſt, den Weg mncdbaihgk verfolgt. Nimmt man nun den gewundenen Multiplicator gk, während der Strom durch ihn geht, in die Hand, um ihn beliebig dem einen oder anderen Theile des Multiplicators bd parallel zu nähern, ſo werden ſich vermöge Drehung des Syſtems sbd Anziehungen und Abſtoßungen äußern, der gegenſeitigen Lage der Multiplicatoren gemäß.

Dieſer Apparat hat noch den Vorzug, daß, da in den beiden Multiplicatoren d und b der elektriſche Strom eine entgegengeſetzte Richtung nimmt, der Erdmagnetismus, indem er auf jeden derſelben wirkt, wie oben S. 191 f. angegeben, ſich aufhebt, alſo die Bewegung des Apparates nicht weiter durch den Erdmagnetismus modificirt wird, wie bei dem Apparat Fig. 56. der Fall iſt. Um bei dieſem Apparate den nachtheiligen Einfluß des Erdmagnetismus zu vermeiden, muß man den Apparat ſo ſtellen, daß die Ebene des Leiters genau diejenige Stellung hat, welche ihr der Erdmagnetismus zu ertheilen ſucht, d. h. diejenige, in welcher der Strom im untern Theile von Oſt nach Weſt geht. Doch äußert ſich der Einfluß des Erdmagnetismus dadurch, daß, wenn eine Ablenkung von DF ſtattfindet, der Erdmagnetismus die Ebene DFGM in die frühere Stellung zurückzubringen ſucht. Man kann daher ſtatt des Drahtes DFGM den Fig. 61. abgebildeten aſtatiſchen Apparat anwenden, wo ſich die Wirkung des Erdmagnetismus dadurch aufhebt, daß er in entgegengeſetztem Sinne gleich ſtark auf die beiden Beſtandtheile der Vorrichtung wirkt, wie eine genauere Anſicht der Zeichnung lehrt. So wie der Erdmagnetismus wirkt zwar auch ein unbeweglicher elektriſcher Strom, wie IL in Fig. 56. auf die entgegengeſetzten Theile eines aſtatiſchen Apparates in entgegengeſetztem Sinne; wenn man aber den unbeweglichen elektriſchen Strom dem einen Theile des beweglichen aſtatiſchen Apparates ungleich näher bringt, als dem andren, ſo zeigt ſich die Wirkung auf den erſten überwiegend. Die Wirkung der Erde iſt dagegen auf beide Theile des Apparates ſtets dieſelbe.

Die Wirkung zweier elektriſcher Ströme auf einander iſt noch allgemeiner, als ſie der oben angegebene Satz ausſpricht, indem ſie auch dann auftritt, wenn die Ströme nicht parallel mit einander ſind, ſondern einen Winkel mit einander machen, ja ſelbſt dann, wenn ſie, ohne in Einer Ebene zu liegen, im Raume ſich kreuzen. Verſuche haben dargethan: daß zwei elektriſche Ströme, die einen Winkel mit einander machen, wenn ſie beide zugleich auf die Spitze des Winkels zu oder beide zugleich von der Spitze des Winkels ab gehen, einander anziehen, ſo daß, wenn einer derſelben um die Spitze des Winkels beweglich iſt, dieſer ſich an den anderen anzulegen ſucht; ferner: daß zwei elektriſche Ströme, die einen Winkel mit einander machen und von denen der eine auf die Spitze des Winkels zu, der andre von ihr ab gehet, einander abſtoßen, ſo daß, wenn der eine dieſer Ströme um die Spitze des

Winkels beweglich ist, er sich so zu stellen sucht, daß er mit dem anderen Strome in eine gerade Linie fällt, wo er dann in derselben Richtung mit ihm sich ergießt. Diese Regel gilt allgemein, die Ströme mögen nun wirklich bis zur Spitze des von ihnen gebildeten Winkels fortgehen oder nicht. Man unterscheidet indeß begrenzte und unbegrenzte Leiter oder Ströme, indem man begrenzt diejenigen nennt, welche nicht oder nur bis zur Spitze des Winkels, den sie mit einem andren Leiter bilden, fortgehen; unbegrenzt dagegen diejenigen, welche über diesen Punkt hinaus reichen, so daß die Wirkung ihrer Enden nicht mehr in Betracht kommt, oder welche in sich selbst zurücklaufen.

Das eben Gesagte gilt auch für den Fall, wo zwei Ströme im Raume sich kreuzen, ohne in derselben Ebene zu liegen, nur daß statt des Durchschnittspunktes (der Spitze des Winkels) hier diejenigen Punkte in beiden Strömen in Betracht kommen, deren Verbindungslinie die kürzeste Entfernung (die Senkrechte) zwischen den Richtungen beider Ströme ist. Die Ströme mögen einander nun anziehen oder abstoßen, immer streben sie gleiche Richtung mit einander anzunehmen.

Da sich zwei Ströme gleicher Maßen anziehen, sie mögen auf den Punkt ihrer geringsten Entfernung von einander zu oder von diesem ab gehen, so hört das Streben zweier Leitungsdrähte, sich anzuziehen oder abzustoßen, nicht auf, wenn man in beiden zugleich die Richtung des Stromes umkehrt; dagegen verkehrt sich die Abstoßung in Anziehung und die Anziehung in Abstoßung, so bald nur in Einem der Leitungsdrähte die Richtung des Stromes geändert wird.

Findet eine solche Umkehrung in einem zweier elektrischer Ströme, die sich vorher angezogen, statt, so ist die Kraft, mit der sie sich nun abstoßen, eben so groß, wie diejenige war, mit der sie sich vorher anzogen, vorausgesetzt, daß die Intensität der elektrischen Ströme dieselbe geblieben ist. Man kann diesen Satz auch dadurch nachweisen, daß man einen elektrischen Draht der Einwirkung zweier dicht neben einander hingeführter elektrischen Leitungsdrähte aussetzt, in deren einem der elektrische Strom aufwärts geht, während derselbe oder ein gleich starker elektrischer Strom in dem anderen abwärts geht: dann findet gar keine Bewegung des der Wirkung beider Drähte ausgesetzten beweglichen Leitungsdrahtes statt. Wenn man daher einen (der Isolirung wegen mit Seide übersponnenen) Leitungsdraht zurückbiegt, so daß der Strom erst herauf dann dicht darneben herab geht, so bringt er einen beweglichen ihm genäherten Leitungsdraht weder anziehend noch abstoßend in Bewegung.

Für die mathematische Betrachtung der elektromagnetischen Erscheinungen, um die sich besonders Ampère verdient gemacht hat, ist folgende Beobachtung von Einfluß: Wenn man einen mit Seide umsponnenen Kupferdraht, der einen elektrischen Strom leitet, so zurückbiegt, daß die eine der beiden Hälften desselben kleine Krümmungen bildet, während die andre Hälfte in gerader Linie fort geht, so bleibt der ganze Draht eben so ohne Wirkung auf einen anderen elektrischen Leitungsdraht, wie wenn die Zurückbiegung ohne jene Krümmungen geschehen

Digitized by Google

wäre. Man kann auch nach Ampère einen astatischen Leiter zwischen zwei mit einander parallele Leiter so bringen, daß die beiden letzten abstoßend auf jenen wirken. Sind dann die elektrischen Ströme in beiden Leitern von gleicher Intensität, so stellt sich nach einigen Oscilationen der bewegliche astatische Leiter in die Mitte zwischen beide, sie mögen nun beide gerade Linien bilden oder es mag der eine von ihnen in kleinen Krümmungen fortgehen. Es wirkt also ein in kleinen Krümmungen fortgehender Leiter ganz eben so, wie ein an seine Stelle gesetzter geradliniger Leiter, in welchem der elektrische Strom dieselbe Totalrichtung hat. Für die mathematische Betrachtung läßt sich dieser Satz (nach Fechner) folgendermaßen ausdrücken: Einer kleinen Linie, welche von einem elektrischen Strome durchlaufen wird, kann man zwei oder mehre andere Linien substituiren, welche von einem Strome der nämlichen Intensität durchlaufen werden, und deren Länge und Richtungen zu der vorliegenden Linie die nämlichen Beziehungen haben, welche zwischen Seitenkräften und ihrer Mittelkraft stattfinden.

Es ist hier der Ort zweier interessanter Versuche zu erwähnen, welche von G. G. Schmidt angestellt worden sind und aus denen hervorgeht, daß die Ströme der Reibungselektricität eine gleiche Anziehung und Abstoßung zeigen, wie die Ströme der galvanischen Elektricität. Schmidt bediente sich zweier belegter Platten AB und CD (Fig. 62.), deren eine mit dem Conductor E einer Elektrisirmaschine so in Verbindung stand, daß die Seite F positiv geladen wurde. Dann fließt durch den Leiter GH, der zu der andren belegten Platte hinübergeht, ein Strom positiver Elektricität von G nach H, um die Belegung H der zweiten Platte positiv zu laden, und beide Platten werden zugleich geladen, wenn von der Belegung der zweiten Platte an der Seite I eine Ableitung IK statt findet. Statt des einen Leiters GH wurden aber hier zwei, nämlich ein feststehender GH und ein an seidenen Fäden aufgehängter LM horizontal neben jenem angebracht; der letzte war an den Enden mit Spitzen versehen, um so die von der Belegung G einströmende Elektricität aufzunehmen und auf die Belegung H überströmen zu lassen. Auf diese Weise ging in beiden Leitern ein elektrischer Strom nach gleicher Richtung und der bewegliche Strom LM wurde in der That von GH angezogen.

Zu Herstellung entgegengesetzter Ströme wurden zwei gleiche belegte Platten UV und WZ (Fig. 63.) gleich stark geladen und nun die positiv geladenen Seiten gegen einander gekehrt. Ein mit einer Spitze versehener Leiter AB ladet die Platte UV aus, wenn unterdeß eine Verbindung KL mit der Erde auf der andren Seite statt findet; gegen diese Spitze B zu geht also ein positiv elektrischer Strom von A nach B. Bringt man eben so einen an seidenen Fäden hängenden Leiter CD an der anderen belegten Platte an, der frei beweglich ist und bei D durch eine Spitze die positive Elektricität ausströmen läßt, so gehen die Ströme AB und CD nach entgegengesetzten Richtungen. Nach Schmidt's Beobachtungen stießen sie sich wirklich ab.

Zieht man genauer die Richtung in Betrachtung, in welcher ein elektrischer Strom auf die einzelnen Theilchen eines anderen elektrischen

Digitized by Google

Stromes anziehend oder abstoßend wirkt, so lehrt mathematische Betrachtung und bestätigen die Versuche, daß jedes Theilchen eines Stromes auf jedes Theilchen eines anderen Stromes in der Richtung einer geraden Linie wirkt, daß aber die Gesammtwirkung des ganzen ersten Stromes, wenn er unbegrenzt ist (der Summe aller seiner Theilchen), jedes einzelne Theilchen des anderen (begrenzten) Stromes in senkrechter Richtung auf dasselbe abzustoßen oder anzuziehen strebt. Ist z. B. d c (Fig. 64.) ein begrenzter elektrischer Strom, a b ein auf denselben wirkender unbegrenzter Strom, so strebt dieser, jedes Theilchen c des Stromes b c nach einer auf dasselbe senkrechten Richtung c g zu bewegen. Nehmen wir an, daß der unbegrenzte Strom von a nach b (wie die Pfeile angeben) und der begrenzte von d nach c gehe, so macht die Richtung d c mit der a b zwei Winkel d m b und d m a. Betrachten wir erst den Winkel d m b, so sehen wir, daß in d m der Strom nach dem Scheitelpunkte zu gehet, während der Strom in m b von dem Scheitelpunkte ab gehet; nach der S. 195. angegebenen Regel muß folglich der Strom m b den Strom c d abstoßen. Betrachten wir nun den Winkel d m a, so zeigt sich, daß in beiden Schenkeln dieses Winkels die elektrischen Ströme nach dem Scheitelpunkte zu gehen, folglich muß nach der Regel auf der Seite 195. der Strom a m den Strom d c anziehen. Während also der Strom d c von m b abgestoßen wird, wird er von a m angezogen; Anziehung und Abstoßung wirken aber hier in gleichem Sinne bewegend auf d c, sie streben nämlich jedes Theilchen c (weil a b als unbegrenzter Strom angenommen worden) in senkrechter Richtung c f zu bewegen. Nehmen wir aber an, daß der Leiter d c nur um den Punkt d beweglich sei, so sieht man leicht ein, daß das Resultat der Wirkung des unbegrenzten Stromes a b auf den begrenzten Strom d c eine Drehung des letztern um d sein werde, so daß c einen Bogen c i beschreibt; d c sucht also in einer Richtung sich fortzubewegen, welche der Richtung des Stromes in a b entgegengesetzt ist. Das eben Gefundene läßt sich allgemein in dem Satze aussprechen: Wenn in einem begrenzten beweglichen Leiter der elektrische Strom auf einen unbegrenzten elektrischen Strom zu fließt, so ist das Resultat der Wirkung des unbegrenzten Stromes auf den begrenzten dieß, daß der begrenzte Strom in einer der Richtung des unbegrenzten Stromes entgegengesetzten Richtung bewegt wird.

Nehmen wir nun aber an, daß der Strom im begrenzten Leiter von dem unbegrenzten Strome abgeht, so also, daß (wie die Pfeile in Fig. 65. angeben) der Strom von c nach d sich ergießt, so stoßen sich nach dem Vorhergehenden a m und m d ab, während m b und m d sich anziehen, jedes Theilchen von c d also wird nach einer auf c d senkrechten Linie e g fortbewegt werden; oder wenn c d um den Punkt d drehbar ist, wird eine Drehung erfolgen, so daß sich c in einem Bogen c i um d bewegt. Allgemein ausgesprochen heißt dieses: Wenn in einem begrenzten beweglichen Leiter der elektrische Strom von einem unbegrenzten elektrischen Strome ab fließt, so ist das Resultat der Wirkung des unbegrenz-

Digitized by Google

ten Stromes auf den begrenzten dieß, daß der begrenzte Strom in einer der Richtung des unbegrenzten Stromes entsprechenden Richtung fortbewegt wird.

Nehmen wir jetzt an, EG (Fig. 66.) sei ein unbegrenzter elektrischer Strom, Sd dagegen ein begrenzter und der ihn leitende Draht sei um S beweglich, so ergibt sich unmittelbar aus dem Vorhergehenden, daß sich Sd drehen muß, daß er hinter einander die Stellung Sd', Sd'', Sd''', Sd'', Sd', Sd'', Sd''' annehmen müsse u. s. f., d. h. daß sich Sd fortwährend im Kreise um S drehen müsse. Hat der bewegliche begrenzte elektrische Strom die Lage Sd, so findet von G Abstoßung, nach E Anziehung statt und zwar so lange, bis er die Lage Sd'' erlangt hat, wo er (nach dem Satze: parallele entgegengesetzt laufende Ströme stoßen sich ab) von EG abgestoßen wird. In einer Lage Sd''' findet Abstoßung von E, Anziehung nach G statt, bis der Strom die Lage Sd'' erreicht hat; in dieser Lage wird er (nach dem Satze: parallele in gleicher Richtung fließende Ströme ziehen sich an) von EG angezogen und in einer Lage Sd''' wieder von E angezogen und von G abgestoßen, u. s. w.

Man kann sich mancherlei Vorrichtungen bedienen, um diese Drehung eines beweglichen begrenzten Leiters veranlaßt durch einen unbegrenzten elektrischen Strom durch den Versuch aufzuzeigen. Fechner gibt folgende Anweisung.

Man hänge den in Fig. 67. vorgestellten kupfernen Leiter mit der Spitze s in das Schälchen S der Fig. 68. ein. Letztre Figur stellt ein Metallgefäß NLM dar, in der Mitte mit einer Dille lnm versehen, durch welche ein Stab von nichtleitender Substanz, der das Schälchen S trägt, mit Reibung auf und ab geschoben werden kann. Das Metallgefäß selbst steht in metallischer Verbindung mit einer durch E'G'H'I' angedeutenden Multiplicatortafel*), deren einer Rand solchergestalt ganz nahe beim Metallgefäße vorbeigeht. Man gießt gesäuertes Wasser in das Metallgefäß und schiebt nun den Stab St so weit herab, daß der in S eingehangene Apparat Fig. 67. mit seinem Ringe hineintaucht.

Läßt man nun den Strom in s eintreten, so wird er durch scs und sdg in den Reif, von da durch das gesäuerte Wasser des Gefäßes, in das der Reif taucht und durch die Gefäßwände hindurch in das Band der Multiplicatortafel übergehen; und da alsdann scs und sdg sich in Bezug zu der Multiplicatortafel ganz unter den nämlichen Umständen befinden, als in der vorigen Figur Sd'' und Sd in Bezug auf EG, so werden sie den ganzen Reif in eine anhaltende Drehung versetzen, und die Richtung dieser Drehung wird stets so beschaffen sein, wie sie sich nach dem Vorhergehenden ergibt.

Man kann der Bewegung des Leiters Fig. 67. dadurch mehr Schnelligkeit und Regelmäßigkeit ertheilen, daß man der Multiplicatortafel, welche nur mit einem Rande bei dem Gefäße der Fig. 68. vor-

*) Eine Tafel oder ein Rahmen, um welchen ein Metalldraht mehremale herumgeführt ist.

Digitized by Google

beigeht, das kreisförmige Multiplicatorband*), Fig. 69., substituirt, indem man es um das Gefäß der Fig. 68. legt und seine metallische Verbindung damit dadurch bewerkstelligt, daß man einen seiner Anhänge, z. B. p, in ein mit Quecksilber gefülltes Schälchen, welches mit dem Gefäß in metallischer Verbindung steht, eintaucht. Die Wirkung dieses kreisförmigen Multiplicatorbandes ergibt sich ganz nach denselben Grundsätzen, als die der Multiplicatortafel beim vorigen Versuche, da es ebenfalls nur einen unbegrenzten Leiter in Bezug auf die beiden Arme des Leiters Fig. 67. darstellt. Seine Wirkung ist aber vortheilhafter als die der Multiplicatortafel, weil alle seine Theile in einem gleichen und sehr nahen Abstande vom Gefäße befindlich sind.

Es ergibt sich nach denselben allgemeinen Grundsätzen, daß auch ein Leiter von der Gestalt Fig. 70., wenn er statt des Leiters Fig. 67. in das von dem Multiplicatorkreise Fig. 69. umgebene Gefäß Fig. 68., wie bei den vorigen Versuchen, eingehangen wird, in anhaltende Drehungen kommen muß, und zwar vermöge der Wirkung seiner verticalen Theile dg, eb, die der Richtung des Stroms in dem Multiplicatorkreise entgegen oder nachzugehen streben, je nachdem der Strom in ihnen abwärts oder aufwärts geht.

Nehmen wir in Fig. 64. und Fig. 65. den begrenzten Leiter als unbeweglich, den unbegrenzten dagegen als beweglich an, so ergeben sich aus ähnlichen Betrachtungen, wie die oben S. 198. angegebenen, folgende Gesetze: Wenn ein unbegrenzter beweglicher Leiter der Wirkung eines begrenzten unbeweglichen ausgesetzt wird, so strebt er nach der Richtung seines eigenen Stromes fortzugehen, wenn der Strom des begrenzten Leiters nach ihm hin läuft, wie in Fig. 64. — Läuft dagegen der Strom des begrenzten Leiters von ihm ab, so strebt er nach der, seinem eigenen Strom entgegengesetzten, Richtung fortzugehen. Um ein Beispiel von dieser Wirkung zu geben, bediene man sich (nach Fechner) des Leiters Fig. 71. bestehend aus einem spiralförmigen Kupferdrahte, dessen Windungen durch drei kleine hölzerne Liniale in einer Ebene erhalten werden. Das innere Ende der letzten Windung krümmt sich aufwärts in einen Haken um, der mittelst der Spitze S den Apparat in das Schälchen S des Apparats Fig. 68. einzuhängen dient, so daß die Spirale in das gesäuerte Wasser wie beim vorhergehenden Versuche taucht. Läßt man nun den Strom in S eintreten, so durchläuft er die Spirale und geht dann von hier aus durch das gesäuerte Wasser in die, in der Kette befindlichen, Gefäße über. Alle durch das gesäuerte Wasser gehende Ströme entfernen sich mithin von dem Strome der Spirale, die hier in Bezug auf die, durch das gesäuerte Wasser von ihr ausgehenden Ströme einen unbegrenzten Leiter darstellt. Die Spirale wird sich also nach der Richtung abg bewegen, der Richtung ihres eigenen Stromes

*) Es besteht aus einem mit Seidenband bekleideten und spiralförmig gewickelten Kupferstreifen.

Digitized by Google

entgegengesetzt. Läßt man umgekehrt den Strom von den Gefäßwänden durch das gesäuerte Wasser nach der Spirale hingehen, so laufen alle begrenzte Ströme nach der Spirale hin; diese wird also nach der Richtung ihres eigenen Stroms sich zu drehen streben müssen, also wieder nach a b g, weil bei dieser Anordnung des Versuchs auch der Strom in der Spirale nach a b g läuft.

Denken wir uns einen Draht spiralförmig gewunden, so wie Fig. 72. zeigt, und innerhalb dieser Schraube den Draht geradlinig zurückgeführt, so können wir beim elektrischen Strome, der sich durch diesen Draht ergießt, eine dreifache Richtung unterscheiden: erstens nämlich geht der elektrische Strom wiederholt kreisförmig um die gerade Linie A B herum, zweitens geht derselbe direct durch die gerade Linie A B (in dem geraden Theile des Drahtes) und drittens endlich, wenn er in A B hinauf ging, geht der elektrische Strom mit den Windungen herab. Die Wirkung des Stromes (gegen einen anderen beweglichen Strom) als in A B hinaufgehender hebt sich gegen seine Wirkung als herabgehender auf, nach dem S. 196. angeführten Satze. Es bleibt also in der That nur noch diejenige Wirkung des Stromes übrig, welche ihm zukommt, in sofern er sich kreisförmig um A B herumbewegt. Ein solcher Apparat, den man einen elektrodynamischen Cylinder oder eine elektrodynamische Schraube nennt, muß sich nach dem oben S. 193. angegebenen Gesetze der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen elektrischen Leitungsdraht, wenn ihm freie Beweglichkeit gestattet ist, in die Richtung des magnetischen Meridians stellen; denn dann steht der elektrische Strom auf der magnetischen Axe der Erde senkrecht. Zum Versuche kann man einen Glasstab A B Fig. 73. mit einem mit Seide übersponnenen Silber- oder Kupferdrahte von einem Ende bis zum andren schraubenförmig umwinden, hierauf die Enden C D und E F in gerader Richtung wieder bis zur Mitte zurückführen und an das eine Ende eine Kupferplatte K, an das andere eine Zinkplatte Z anlöthen. Wird nun dieser Apparat in seiner Mitte an einen ungedrehten Faden W aufgehängt und K und Z in gesäuertes Wasser getaucht, so stellt sich A B in die Richtung des magnetischen Meridians. Welches der Nordpol und welches der Südpol werde, kann man vorher bestimmen, wenn man bedenkt, daß sich der elektrische Strom von K aus nach Z ergießt; denkt man sich dann den Beobachter in der Richtung des elektrischen Stromes gelegen, so muß sich der Südpol der Erde zur linken Hand des Beobachters befinden. Vergl. S. 193.

Ein ähnlicher Apparat ist der Fig. 74. vorgestellte, welcher aus einer Korkscheibe besteht, durch welche zwei 2 Linien breite Streifen von Zink oder Kupfer so gesteckt sind, daß sie unten 1 Zoll, oben 2 Linien weit aus dem Korke hervorragen. Mit Seide dicht übersponnener Messingdraht, den man um eine 2 Linien weite Röhre so gewunden hat, daß, wenn man diese herauszieht, er eine Länge von 6 Zoll einnimmt, bildet die Drahtschraube, deren Windungs- und Befestigungsart unmittelbar aus der Figur erhellt. Wird dieser Apparat auf gesäuertes Wasser gesetzt, so verhalten sich die Enden dieser Schraube gegen genäherte Magnete in ihren Abstoßungen und Anziehungen ganz wie Magnet-

Digitized by Google

pole. Die Enden einer elektrodynamischen Schraube können hiernach als Pole betrachtet werden, und zwar verhält sich der eine als Nord-, der andre als Südpol. Auch zwei einander genäherte elektrodynamische Schrauben verhalten sich in ihren Anziehungen und Abstoßungen wie Magnetnadeln.

Aus allen diesen Erfahrungen hat nun Ampère geschlossen, daß jede elektrodynamische Schraube als ein Magnet angesehen werden könne und daß jede Magnetnadel als eine elektrodynamische Schraube betrachtet werden könne, d. h. als ein Körper, um dessen Axe in Ebenen, die auf der Axe senkrecht oder nahe senkrecht sind, elektrische Ströme kreisen, von welchen alle sogenannte magnetische Wirkungen derselben abhängen. Um die Oerstedschen Beobachtungen, d. h. die Wirkungen eines elektrischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel, so wie überhaupt alle diejenige elektromagnetischen Versuche, bei denen Magnetnadeln angewandt werden, auf die Wirkung elektrischer Ströme gegen einander zurückzuführen und die bei allen Versuchen vorkommenden Bewegungen voraus bestimmen zu können, müssen die den Magnet umkreisenden Ströme so angenommen werden, daß sie, wenn der Magnet in seiner natürlichen Stellung mit dem Nordpole nach Norden gekehrt ist, an der oberen Seite von Westen nach Osten, an der Ostseite herabwärts, an der unteren Seite von Osten nach Westen, an der Westseite hinaufwärts gehen, kurz: die Umströmungen um den Magnet müssen der täglichen Bewegung der Sonne entgegengesetzt angenommen werden. Hiernach ergibt sich für die verschiedenen Stellungen des Magnetes folgende Richtung der ihn umkreisenden Ströme: Für die Stellung des Nordpols nach Süden der Strom an der obern Seite von Osten nach Westen, an der Westseite herab; für die Stellung des Nordpols nach Osten der Strom an der oberen Seite von Norden nach Süden, an der Südseite herab; bei verticaler Stellung des Magnets, wenn der Nordpol oben ist, geht der Strom von der Südseite nach der Ostseite, Nordseite, Westseite; bei verticaler Stellung, wenn der Südpol oben ist, geht der Strom von Norden nach Osten, Süden, Westen.

Wie sich durch die Ampère'sche Annahme die Wirkung zweier Magnete auf einander auf die Wirkung elektrischer Leitungsdrähte zurückführt, so hat man auch die magnetische Polarität der Erde auf elektrische Ströme zurückzuführen gesucht. Barlow ließ einen Globus von Holz verfertigen und leitete um denselben für jeden zehnten Grad mit Metalldrähten einen elektrischen Strom. Er fand, daß eine Magnetnadel, bei welcher der Einfluß des Erdmagnetismus aufgehoben war, und die bei diesem Globus als Neigungscompaß angewendet wurde, alle die relativen Stellungen annahm, die der Neigungscompaß auf den entsprechenden Breiten der Erde annimmt. Sturgeon wiederholte den Versuch, bediente sich aber einer Kugel von Gußeisen. Diese war um den mittelsten Theil überzogen mit vier über einander gelegten aber getrennten Spiralwindungen, deren gleichnamige Polenden in ihren runden Kupferstücken vereinigt wurden, welche an einer

Digitized by Google

hölzernen durch die Kugel gehenden Axe befestigt waren, um welche erstere gedreht werden konnte. Diese Kupfer-Rundelle berührten mit ihrem untersten Rande kleine Quecksilberschälchen, zu denen die Drähte von einem elektromotorischen Apparate geführt werden konnten und dadurch gestatteten, daß die Kugel ohne Unterbrechung der Leitung um ihre Axe gedreht werden konnte.

Es ist schon oben von Drehungen (Rotationen) die Rede gewesen, welche durch Einwirkung elektrischer Ströme auf einander in gewissen Fällen hervorgebracht werden. Da nach der Ampère'schen Theorie jeder Magnet ein mit elektrischen Strömen umgebener Körper ist, so läßt sich vermuthen, daß ähnliche Drehungen an Magneten durch elektrische Ströme und an elektrischen Strömen durch Magnete verursacht werden. In der That hat man auch eine Menge von Apparaten entdeckt, durch welche Rotationen der genannten Art erzeugt werden. Es würde zu weit führen, die einzelnen Rotationsversuche auf die oben angegebenen allgemeinen Bedingungen, unter welchen Drehungen stattfinden, zurückzuführen; ich werde mich daher begnügen, einzelne interessante Rotationsversuche anzuführen.

Folgendes ist die Beschreibung eines von Pouillet angegebenen Apparates, wo ein verticaler Magnet um seine Axe sich dreht, indem horizontale Ströme alle nach seiner Axe convergiren oder alle von seiner Axe divergiren.

VVVV (Fig. 75.) ist ein, bis A mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß; SN ein magnetischer Stahlstab, unten mit einem Gegengewicht von Platin, M, versehen, welches, mit dem eigenen Gewichte des Magnetstabes verbunden, nicht hinreicht, ihn zum völligen Einsinken ins Quecksilber zu bringen, sondern bloß, ihn vertical darin schwebend zu erhalten. Auf dem obern Pole des Magneten ist ein mit Quecksilber gefülltes metallenes Becherchen befestigt, in welches der eine Leitungsdraht des Volta'schen Apparats taucht, während der andre Leitungsdraht mit dem Drahte ZF verbunden wird, der in eine Oeffnung des Glases bei T eingekittet ist, so daß er mit dem Quecksilber communicirt. Hier nun tritt der Strom durch Z ein, wenn ZF mit dem positiven Draht in Verbindung ist, und strahlt durch das Quecksilber nach dem Magneten hin, um längs des Magneten selbst nach F aufzusteigen. Der Magnet wird sich um sich selbst drehen und die Richtung der Drehung wird verschieden sein, je nachdem der Südpol oder Nordpol oben, und je nachdem der positive oder negative Leitungsdraht bei C oder Z angebracht ist.

Einen anderen Apparat, bei welchem eine ähnliche Drehung des Magnetes stattfindet, und welchen Sturgeon angegeben hat, zeigt Fig. 76. SN ist ein Magnet, welcher sich auf messingenen Spitzen dreht, die des Nordpols steht in der mit Quecksilber gefüllten Schale Z, und die des Südpols in der amalgamirten Pfanne der aufgeschraubten obern Verbindungsschale Z'. Der Magnet ist mit einem kreisförmigen metallenen Gefäße c umgeben, welches mit Quecksilber gefüllt wird. Ein an den Magnet gelötheter Draht taucht mittelst seines niedergebogenen Endes in das Quecksilber des Gefäßes c ein. Zu dem

Digitized by Google

Gefäße begeben sich zwei metallene Arme V W, die mit dem einen Pole der Säule z. B. dem Kupferpole in Verbindung stehen, während die metallenen Arme d und d′ mit dem positiven Pole verbunden sind. Der Strom divergirt folglich in den metallenen Armen V und W von der Axe des Magnetes, und der letztere dreht sich daher in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung um seine Axe.

Bei folgendem Apparate von Pouillet läuft der Strom durch feste Leiter und bringt eine Drehung des Magnetes hervor.

A B (Fig. 77.) ist ein cylindrischer Magnet, mit einem Blatt Papier oder einer nicht leitenden Firnißschicht umgeben und in eine Hülse c c′ von sehr dünnem Kupfer eingeschlossen, welche in der Mitte eine Art Flugrad v v′ (bloß im Durchschnitte gesehen) trägt, an ihren Enden aber Stöpsel b b′, in deren Axe eiserne Zapfen t t′ befestigt sind, welche auf der Schneide zweier Metallplatten m m′ ruhen, die zur besseren leitenden Verbindung zugleich etwas Quecksilber aufzunehmen vermögen. Der Rand des Flugrads taucht auch in Quecksilber, welches in der Schale c enthalten ist.

Fig. 78. zeigt einen Apparat, welcher dem Fig. 75. abgebildeten ganz entspricht und der ebenfalls von Pouillet angegeben ist, bei dem sich aber der Magnet S M (welcher sich nicht in der Mitte des Quecksilbers, sondern zur Seite befindet, während der eine Leitungsdraht, der vorher unmittelbar in den Magnet eintraf, in die Mitte des Quecksilbers eintaucht,) um eine seiner Axe parallele außerhalb des Stabs befindliche Linie bewegt.

Ampère's elektromagnetischer Drehungsapparat (Fig. 79.) besteht aus einem dreifüßigen Tische, auf welchem das gläserne Gefäß X Y mit seinem Fuße M feststeht. An der einen Seite ist der kupferne Stab E F befestigt, an dessen unterem Ende das Schälchen mit Quecksilber O festsitzt, am obern F aber der auf- und abwärts verschiebbare horizontale metallene Stab F G, mit einem kupfernen Ringe G I H, welcher etwas enger ist als die Oeffnung des Glases, und sich von oben herab so in dieses herabsenken läßt, daß er das Quecksilber berührt, wie die Figur zeigt; an der andren Seite, diametral gegenüber, ist der runde Kork U durch eine Oeffnung im Tische gesteckt und dient als Halter des Metalldrahtes A B mit einem Quecksilberschälchen O′ an seinem untern Ende, oben bei B horizontal, bei D vertical herabwärts gebogen, so daß er seine Spitze Z in der Axe des Glasgefäßes in das Quecksilber tauchen läßt. Im Quecksilber endlich schwimmt vertical der Magnetstab N P mit seinem hervorragenden Pole N und unten befestigten Platingewichte P. Wird dann der elektrische Strom vom Gefäße O durch den kupfernen Ring zum Quecksilber im Glase X Y und von hier durch Z D B A zum Gefäße O′ geleitet oder umgekehrt, so wird der Magnet um den verticalen Draht Z D sich nach der einen oder andren Richtung herumbewegen.

Daß auch ein beweglicher Polardraht durch einen Magneten in drehende Bewegung gesetzt werde, kann man nach Faraday am leichtesten zeigen, wenn man in eine auf beiden Seiten durch Kork geschlossene Glasröhre Fig. 80. unten einen Eisendraht a steckt, der über den Kork

Digitized by Google

ziemlich weit hervorsteht, den Boden mit Queckſilber bedeckt und in daſſelbe einen dünnen Draht b reichen läßt, welcher unten ein kleines Knöpfchen von Glas hat, das die Berührung zwiſchen b und a verhindert, oben hakenförmig gebogen iſt und in einen ähnlichen Haken eingehängt wird, deſſen Fortſetzung mit einem Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung ſteht, während das Queckſilber am Boden der Röhre mit dem anderen Pole der Säule mittelſt eines andren Drahtes c communicirt. Sobald die Thätigkeit der Säule beginnt, und ein Magnet an das äußre Ende von a gehalten wird, um es durch Vertheilung zu magnetiſiren, beginnt das Umkreiſen des Polardrahtes und dauert fort, ſo lange die Thätigkeit der Säule anhält. So wie der magnetiſche Pol geändert wird oder die mit dem Pole der Säule verbundenen Drähte verwechſelt werden, ändert ſich auch die Richtung der kreiſenden Bewegung.

Dieſen Verſuch hat Sturgeon ſo abgeändert, daß er, wie Fig. 81. verſinnlicht, den weichen Eiſenſtab AB mit einem Kupferdraht umwand, welcher ſo wie der Eiſenſtab in das Queckſilbergefäß N reichte. FE iſt der beweglich aufgehangene Leitungsdraht, welcher rotirt, ſobald die Queckſilbergefäße C und D mit den Polen des Elektromotors in Verbindung geſetzt ſind. Hierdurch wird nämlich nach dem Obigen AB in einen Magnet und FE in einen elektriſchen Leitungsdraht verwandelt*).

Schweigger gibt folgenden kleinen Drehungsapparat an. gh (Fig. 83.) iſt eine flache hölzerne Scheibe mit der runden ausgedrehten Rinne rr', beſtimmt zur Aufnahme des möglichſt reinſten Queckſilbers. Der eine Polardraht p iſt in das Queckſilber der Vertiefung r geleitet, der andre q geht unten in die Scheibe eingelaſſen bis in die Mitte, iſt dort umgebogen, geht vertical durch das Centrum der Scheibe und endigt oben in eine angelöthete feine Nähnadelſpitze. Auf dieſer ſchwebt vermittelſt des kleinen Hütchens v die ſehr leichte aber nicht zu kurze, wohl 6 Zoll lange meſſingene oder kupferne Nadel na, mit einem krummgebogenen Ende von Platin, beſtimmt in das Queckſilber der Rinne zu tauchen, und einem kleinen Gegengewichte n, um das längere Ende

*) Sturgeon hat nach demſelben Grundſatze (an die Stelle eines gewöhnlichen Magneten einen Elektromagneten zu ſetzen) auch einen Apparat conſtruirt, bei welchem ein Magnet um ſeine eigene Axe rotirt, wenn ein elektriſcher Strom durch ihn geleitet wird. Dieſer Apparat beſteht aus einem Cylinder von weichem Eiſen, der oben und unten ſpitzig zuläuft und mit dieſen ſeinen Enden in eigene Pfannen paßt, in denen er beim Rotiren ſpielt. Um dieſen Cylinder iſt eine Kupferſpirale ſchraubenförmig gewickelt und mit den Enden an den Cylinder angelöthet; in der Hälfte der Spirale iſt aber ein kurzer hakenförmig abwärts gebogener Draht angelöthet und dieſer reicht mit ſeiner Spitze in eine kreisförmige mit Queckſilber gefüllte Rinne; von dieſer geht der elektriſche Strom aus und gelangt in die Spirale, und in dieſer Rinne dreht ſich der Drahtfortſatz ohne Hinderniß. Fig. 82. ſtellt den Apparat vor.

Digitized by Google

zu balanciren. SUN ist ein Magnetstab, dessen Lage aus der Figur erhellt. Ist S der Südpol, und tritt die positive Elektricität von Norden her ein, um den Lauf pravt zu nehmen, so geht die Drehung der Nadel durch Nord nach Ost, Süd, West.

Bei Beschreibung dieses Apparates bemerkt Fechner noch, daß man statt eines künstlichen Magnetes zu diesem Versuche auch einen zur Kette geschlossenen ringförmigen Multiplicatorwulst nehmen und die Schale auf die nördliche oder südliche Seite seiner Ebene stellen kann. Der Apparat kann auch so abgeändert werden, daß eine Drehung der Nadel rvn um den Magnet als Axe erfolgt, indem man ein Loch in der Mitte des untern Theiles der Scheibe ausschneidet, was jedoch nicht ganz hindurchgeht und in dieses Loch den einen Pol eines verticalen Magnetes hineinhält. Der Draht vtq muß bei diesem Apparat eine etwas abgeänderte Biegung erhalten*).

Nadeln, welche vom Strome in entgegengesetzter Richtung durchlaufen werden, nehmen unter dem Einfluß desselben Magnetpoles entgegengesetzte Drehungen an. Um dieß nachzuweisen hat Schweigger folgenden Apparat s. Fig. 84. angegeben. AB stellt den Durchschnitt einer runden dicken Holzscheibe dar, welche auf drei Stellschrauben ruht, und in der Mitte durchbohrt ist, um den Pol eines starken Magneten in das Loch stecken zu können. Concentrisch mit dem Loche sind in der Holzscheibe zwei kreisförmige Rinnen eingedreht und das Ganze ist gut überlackirt. Starke winkelförmige Querdrähte sind in die Seitenwände eingeschlagen, welche die Rinnen von einander trennen, und jeder dieser Querdrähte ist mit einer Spitze versehen, worauf eine metallene Nadel mit abwärts gebogener Platinspitze ba und hi schwebt. In die ringförmigen Rinnen wird gesäuertes Wasser oder Quecksilber gegossen, so daß es von den Spitzen der Nadel berührt wird. Die Klammern c und f communiciren mittelst eines durch das Holz hindurch gehenden Drahtes e, und die Leitungsdrähte A und B gehen ebenfalls durch das Holz hindurch, um, der eine in der inneren, der andere in der äußeren Rinne in Berührung mit der Flüssigkeit zu kommen. Die Elektricität geht von A durch die Flüssigkeit, bei a zur Nadel abc, von da durch die Spitze, Klammer und den vereinigenden Draht cde in die andere

*) Fechner bemerkt, daß man bei diesem und ähnlichen Versuchen möglichst reines und trocknes Quecksilber anwenden müsse, ohne es, wie manche vorgeschlagen haben, mit einer verdünnten Säure zu übergießen, weil diese leicht etwas Oxyd erzeugt. Bei der Anwendung von bloß kupfernen Nadeln ohne Platinspitzen kann man die Enden mit etwas salpetersaurem Quecksilber amalgamiren, dann aber das Quecksilber durch sie bloß berühren lassen. Um dieß zu erreichen, überzieht man sie übrigens mit Siegellackfirniß, damit sie außer der unteren amalgamirten Fläche nicht weiter amalgamirt und dadurch tiefer in das Quecksilber gezogen werden, welches die Reibung vermehren würde. Man kann sich statt des Quecksilbers auch gesäuerten Wassers bedienen, die Drehungen erfolgen dann ebenfalls, aber weit langsamer.

Digitized by Google

Klammer, um von hier aus die andere Nadel in der Richtung von ghi zu durchlaufen.

Noch ist ein von Barlow angegebener interessanter Apparat zu beschreiben. AB (Fig. 85.) ist ein vierkantiges Bret von hartem Holze, auf welchem die zweimal gebogene kupferne Stange CDE ruht. An dieser befindet sich der dünnere Kupferdraht abcd angelöthet, welcher unten durchschnitten und mit feinen Pfannen versehen ist, damit das kupferne Rad VW mit den sehr feinen stählernen Spitzen seiner Are aa' (Fig. 86.) hineingesenkt, sich sehr leicht bewegen kann. In der Mitte hat das Bret eine Vertiefung fg mit einer etwas hervorlaufenden Rinne i, worin Queckſilber ausgegoſſen und zum Ueberfluß mit einer Lage sehr verdünnter Salpetersäure bedeckt ist. Endlich wird ein starker Hufeisenmagnet HM in die Lage gelegt, welche die Zeichnung angibt. Setzt man den Kupferdraht CDE mit dem einen Pole eines stark wirkenden Apparats in Verbindung, den andren mit dem Queckſilber der Rinne i, so fängt das Rad an um seine Are zu laufen. Die Zapfenlager, die Zapfen selbst und auch die Zähne des Rades müſſen amalgamirt sein. Als Barlow zu diesem Versuche einen Hareschen Calorimotor von 20 Kupfer- und Zinkplatten, jede von 10 Zoll Seite anwandte, lief das Rad mit solcher Geschwindigkeit um, daß das Auge nicht folgen konnte.

In neuster Zeit ist es Ritchie gelungen, einen Elektromagneten durch Umdrehung seiner Pole in eine rotirende Bewegung zu setzen. Es sei AB, Fig. 87. der Durchschnitt einer kreisrunden Scheibe von Holz, mit einer kreisrunden Rinne aa, die zur Aufnahme von Queckſilber bestimmt ist. Diese Rinne ist durch zwei dünne Holzwände in zwei Zellen getheilt, von denen jede durch einen Napf oder ein andres zweckmäßiges Mittel mit den Polen der Batterie verbunden ist. NS ist ein Stück weichen Eisens, das sich leicht um eine verticale Are oder auf einer feinen Spitze drehen muß, und um welches ein Kupferdraht gewickelt ist, dessen Enden in das Queckſilber der beiden Zellen der Rinnen tauchen. Die Enden der Drähte sind so ajustirt, daß sie die beiden Holzwände nicht berühren, indem sich die Oberfläche des Queckſilbers ein wenig über diese Wände erhebt. Wenn man nun einen Hufeisenmagnet über dem temporären Magnet anbringt, und zwar so, daß seine Pole, die einen beträchtlichen Abstand von einander haben müſſen, grade über den beiden Holzwänden der Rinne zu stehen kommen, so wird das weiche Eisen, welches durch die Batterie in einen Elektromagneten verwandelt ist, in eine rasche Rotation versetzt werden; denn der Elektromagnet, der durch die Anziehung der Pole des genannten Magneten in Bewegung gesetzt ist, kehrt seine Pole um, im Moment, da die Drähte über die beiden Wände springen. In diesem Moment geht die Anziehung in eine rasche Abstoßung über, und diese reicht hin, den Elektromagneten wieder bis zu dem Punkte zu führen, wo die Pole abermals vertauscht werden, und mithin Anziehung eintritt. Ein einfacher (gerader) Magnet, gehalten mit einem seiner Pole gerade über dem Punkt, wo die Umkehrung der Pole des Elektromagneten stattfindet, ist vollkommen hinlänglich, die Rotation zu unterhalten.

Digitized by Google

Ritchie bemerkt noch, daß sich durch eine geringe Aendrung des Apparates auch ein Hufeisenmagnet mit beträchtlicher Geschwindigkeit zur Rotation bringen lasse. Er versichert, er habe einen Rotationsapparat dieser Art construirt, welcher so viel Kraft habe, daß er mittelst einer Rolle mehre Unzen heben könne. Wenn der Apparat so gestellt wird, daß die Umkehrung der Pole des Elektrometers im magnetischen Meridian stattfinden muß, so ist die Wirkung der Erde hinreichend, den Elektromagneten ohne Hilfe andrer Magnete zur Rotation zu bringen.

Die Wirkung der Erde kann auch einen horizontalen um eine verticale Axe beweglichen Leiter zu einer Drehung bringen. Wenn der Strom vom beweglichen Ende des Leiters nach seinem Drehpunkte hin läuft, so findet die drehende Bewegung von Ost durch Nord nach West statt; bei entgegengesetzter Richtung des Stromes von West durch Nord nach Ost. Um diese Drehung zu beobachten, kann man sich folgenden von Schweigger angegebenen Apparates bedienen. MN (Fig. 88.) ist ein Kasten aus lackirtem Holze, der mit einer leitenden Flüssigkeit gefüllt ist und über dessen Boden die Spitzen m, n beider Leitungsdrähte hervorragen, die in Glasröhren, in denen sie sich auf und ab schieben lassen, durch den Boden hineingeleitet sind. Auf diesen Spitzen schweben die feinen metallenen Nadeln a b und c d, so daß ihre umgebogenen, am besten in Platinspitzen ausgehenden Enden in die gesäuerte Flüssigkeit tauchen, und solchergestalt die Elektricität von einem Metall zum andren direct übergeleitet wird. Da in diesem Apparate die eine Nadel vom beweglichen Ende nach dem Drehpunkt, die andre in umgekehrter Richtung vom Strom durchlaufen wird, so drehen sie sich auch in entgegengesetzter Richtung; der positive Draht gewöhnlich etwas stärker als der negative, weil an diesem die Entbindung von Gas, welches störend wirkt, schwächer ist.

Wie in den vorhergehenden Fällen die festen elektrischen Leiter in drehende Bewegung gesetzt wurden, wenn andre elektrische Leiter oder Magnete unter gewissen Bedingungen auf sie wirkten, so nehmen auch die vom Strome durchlaufenen Flüssigkeiten nach denselben Gesetzen drehende Bewegungen an. Um diese elektromagnetischen Drehungen bei nicht metallischen Flüssigkeiten zu beobachten, gibt Fechner folgenden von ihm construirten Apparat an: Man läßt sich eine kupferne Schale verfertigen, die in der Mitte mit einer Art Dille versehen ist, um mittelst derselben auf einen Magnetpol aufgesetzt werden zu können, wie Fig. 89. im Durchschnitte zeigt. Um diese runde Dille legt man einen gut anpassenden Ring (oder einen Hut) von Zink, den man, wenn man will, auch gleich anlöthen lassen könnte. Dieß ist der ganze Apparat. Gießt man nun eine Mischung von Salmiakwasser mit Säure in diese Schale, so geht der Strom vom Zinkringe durch die Flüssigkeit zum Kupfer und die Flüssigkeit dreht sich in derselben Richtung, in der sich ein fester Leiter drehen würde, in dem der Strom dieselbe Richtung im Bezug zum Magneten hätte. Wendet man einen Hufeisenmagnet mit zwei Schalen von der beschriebenen Art an, so sieht man die Drehung der Flüssigkeit in beiden in entgegengesetzter Richtung erfolgen. Man kann auch eine einzige ovale Schale, mit zwei Dillen

Digitized by Google

und zwei Zinkringen, die auf die Pole des Hufeisenmagnets passen, anwenden, in welchem Falle ebenfalls die Drehung zunächst um jeden Zinkring in entgegengesetzter Richtung als um den andren Zinkring erfolgt, mehre der leichten Körperchen aber auch (die zur deutlicheren Sichtbarmachung der Bewegung es zweckmäßig ist, auf die Flüssigkeit zu streuen) sich zwischen beiden Zinkringen von einem zum anderen schlingen. Die Drehung ist in der Nähe des Zinkringes von der stärksten Intensität und verlangsamt sich nach der Peripherie zu. Wendet man etwas concentrirte Flüssigkeit an, so erlangt sie unmittelbar um den Zinkring eine sehr bedeutende Schnelligkeit. — Der Durchmesser der von Fechner angewandten Kupferschale ist 4 paris. Zoll 8 Linien, der Durchmesser des um die Dille gelegten Zinkringes 1 Zoll.

Nach Schweigger kann man die elektromagnetische Drehung einer nichtmetallischen Flüssigkeit beobachten, wenn man ein kleines mit Lack überzogenes Kästchen auf den einen Pol eines etwa 20 Zoll langen Magnetstabes setzt, salzsaures oder Salmiakwasser in das Kästchen gießt und zwei kleine aus Kupferblech gefertigte Kegel so darin anbringt, daß sie die Flüssigkeit nur so eben berühren. Wenn man dann den einen Kegel mit dem positiven, den andern mit dem negativen Drahte einer Säule in Verbindung setzt, so dreht sich das Wasser um den negativen Kegel nach der einen, um den positiven nach der entgegengesetzten Richtung.

Ritchie hat zwei Apparate angegeben, um die Rotation des Wassers um einen Magnetstab zu zeigen; mittelst des einen läßt er das Wasser für sich um einen Magnet nur rotiren, mittelst des andren in Gemeinschaft mit dem Gefäß, in welchem es enthalten ist. Die Vorrichtung zu der ersten Form des Versuches sieht man in Fig. 90. abgebildet. AB ist der Querschnitt des ruhenden Gefäßes, bestehend aus zwei concentrischen Glascylindern, die unten durch einen angekitteten Holzring verbunden sind. In den ringförmigen Raum zwischen beiden Cylindern wird das zur Rotation bestimmte Wasser gegossen, das also einen cylindrischen Ring bildet. Die Verbindung des Wassers mit der Voltaschen Säule geschieht durch zwei Drähte w, w', von denen der eine von unten durch den Boden des Gefäßes geleitet ist, der andere aber an der gegenüberliegenden Seite des Gefäßes von oben in das Wasser hinabreicht, wie es die Figur zeigt. Durch den inneren hohlen Raum des ringförmigen Gefäßes ist ein cylindrischer Magnetstab gesteckt, natürlich höchstens bis zur Hälfte seiner Länge, damit nur die eine Polarität desselben auf das Wasser wirke. Oben auf dem Magnetstabe ruht, mittelst einer feinen Spitze, ein horizontales Holzstäbchen, von dem senkrechte Arme mit Schaufeln in das Wasser hinabgehen; diese Vorrichtung hat nur den Zweck, die Rotation des Wassers sichtbarer und augenfälliger zu machen. Verbindet man nämlich die Drähte mit den Enden der Voltaschen Kette, so geräth das Wasser, während es an diesen Drähten zersetzt wird, in eine wirbelnde Bewegung und führt die Holzschaufeln mit herum. Die Richtung der Rotation ist natürlich verschieden, je nachdem der Nord- oder Südpol

Digitized by Google

des Magneten vom Gefäße umschlossen ist, und je nach der Art, wie die Drähte mit der Säule verbunden sind.

Den Apparat zu der anderen Versuchsweise zeigt Figur 91. Hier besteht das zur Aufnahme des Wassers bestimmte Gefäß C aus zwei concentrischen Holzcylindern (Glascylinder würden wohl der Durchsichtigkeit wegen vorzuziehen sein), die oben wie unten durch einen Kupferring verbunden sind. Der obere Kupferring ist querüber mit einem Stäbchen (auch wohl mit einem Loch zum Eingießen des Wassers) versehen, an dessen Mitte das Gefäß durch den Faden T getragen wird. Unterhalb der Mitte dieser Querleiste befindet sich ein Stift, der in das mit Quecksilber gefüllte Näpfchen reicht, welches auf dem vom Gefäß umschlossenen Magnetstab N ruht. Vom unteren Boden des Gefäßes gehen zwei Kupferstifte in das Quecksilber hinab, mit dem die ringförmige Schale B gefüllt ist. Die Verbindung des Wassers in dem Gefäße C mit der Voltaschen Säule geschieht vermittelst der eben genannten Stifte durch die Drähte ww', von denen der erste von unten in das Quecksilber der ringförmigen Schale, der andere aber durch den hohlen Raum des ganzen Apparats hinauf in das Quecksilber im Näpfchen auf den Magnetstab geleitet ist. Damit das Wasser nicht für sich, sondern gemeinschaftlich mit dem Gefäße C rotire, sind in demselben Querwände angebracht, die dem rotirenden Wasser Widerstand leisten. So wie die Drähte ww', mit der Voltaschen Säule in Verbindung gesetzt werden, geräth das Wasser, während ein Theil desselben zersetzt wird, gemeinschaftlich mit dem Gefäß um den Faden T in Rotation.

Von besonders großem Interesse sind diejenigen Drehungen, welche unter Einfluß des elektrischen Stromes und eines Magneten am Quecksilber namentlich von H. Davy, Erman, Schweigger und Herschel beobachtet worden sind, von welchen aber nur diejenigen als rein elektromagnetische Erscheinungen hierher gehören, bei denen man sich des reinen Quecksilbers bedient hat, nicht aber die, wo das Quecksilber in Berührung mit sauren, alkalischen oder salzigen Flüssigkeiten zwischen die Polardrähte gebracht wird, indem bei den im letzterem Falle stattfindenden Bewegungen, wie Fechner bemerkt, elektrochemische Vorgänge ins Spiel kommen, welche die Erscheinungen wesentlich modificiren. Am einfachsten kann man die drehende Bewegung des Quecksilbers durch bloße Wirkung eines Magneten nach Schweigger folgendermaßen beobachten. Eine Schale mit Quecksilber Fig. 92. stehe auf dem Südpole S eines Magnets, darüber werde ein schmales an einem Stative befestigtes Bret mit zwei Oeffnungen angebracht, durch welche zwei an der Lampe fein ausgezogene Glasröhren gehen, versehen mit zuleitenden Drähten m und n, welche jedoch nicht ganz bis zur Spitze der Röhren herabreichen, um den freien Ausfluß des gleichzeitig in dieselben hineingegossenen (oder durch zwei kleine Heber zufließenden) Quecksilbers nicht zu stören. Das Quecksilber muß continuirlich, nicht tropfenweise fließen. Um sich hiervon zu überzeugen, bringt man einen der Polardrähte mit einem Multiplicator von zwei bis drei Windungen eines stärkeren Drahtes in Verbindung; sobald das Quecksilber nicht mehr continuirlich, sondern tropfenweise aus der Röhre

Digitized by Google

fließt, hört der Ausschlag der Magnetnadel unter dem Multiplicator auf (weil die Kette unterbrochen ist); zugleich entstehen Wellenbewegungen auf dem Queckſilberſpiegel, welcher, ſo lange der feine Queckſilberſtrom aus geringer Höhe continuirlich auf ihn hin fließt, ganz eben erſcheint. Iſt die Bedingung des continuirlichen Stromes erfüllt, ſo ſieht man, wenn der Queckſilberſpiegel beſtäubt iſt, deutlich das Queckſilber ſich um den poſitiven Stral durch Weſt Süd Oſt, um den negativen durch Oſt Süd Weſt (wenn der Südpol wirklich nach Süd gerichtet war) drehen.

Ueber Davy's Verſuche macht Muncke folgende Mittheilung. Davy ſenkte zwei Enden Kupferdraht $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Zoll tief lothrecht in ein Gefäß mit Queckſilber, brachte ſie in Verbindung mit einem mächtigen Volta'ſchen Apparate von 200 Q. F. Metallfläche, und fand beim Halten eines ſtarken Magnetes über oder unter den Drähten, noch mehr aber, wenn er die freundſchaftlichen Pole von zwei Magneten einen über, den anderen unter die Drahtenden hielt, eine ſtarke Rotation des Queckſilbers um dieſe Drähte. Darauf ſteckte er zwei Kupferdrähte, welche an ihren Enden polirt und übrigens mit Siegellack überzogen waren, von unten durch den Boden eines gläſernen Gefäßes, goß in letzteres Queckſilber, ſo daß es $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Zoll über die Drahtenden überſtand, verband ſie dann mit den Polen der Säule und fand eine Strömung des Queckſilbers zwiſchen ihnen in der Art, daß das Queckſilber ſich in Geſtalt kleiner Kegel bis eine Linie hoch erhob. Näherte er dieſen Kegeln einen Magnet, ſo wurden ſie der größeren Annäherung proportional niedergedrückt, und verwandelten ſich in Wellen, welche das Ende der Drähte concentriſch umgaben, aufgeſtreueten Körperchen aber keine fortgehende Bewegung mittheilten, indem dieſe letzteren vielmehr ohne Veränderung ihres Ortes gehoben wurden und niederſanken, wie eine ähnliche Wirkung auch bei den Meereswellen ſtattfindet. Es laſſen ſich dieſe Strömungen auch mit kleineren Apparaten erhalten, wenn man die beiden Drähte (Fig. 93.) N, P einer Volta'ſchen Säule in das Gefäß XY mit Queckſilber ſenkt, und den Magnet AB oder ein Bündel Magnete mit ihren gleichen Polen von oben herab über der Fläche des Queckſilbers zwiſchen beiden Drähten hält. So wie aber ein beweglicher Magnet zum Umkreiſen gebracht werden kann, ſo muß auch hier eine Umkreiſung um den feſtgehaltenen entſtehen, welche ſtärker iſt, weil man einen ſtarken Magnet anwenden darf. Um dieſelbe leichter wahrnehmbar zu machen, wird etwas geſäuertes Waſſer auf das Queckſilber gegoſſen, damit durch die Gasentwickelung kleine Bläschen entſtehen, deren Bewegung die Richtung der Ströme angibt. Wenn man beide Drähte ſo nahe an einander in das Queckſilber eintaucht, daß ein Magnet auf beide zugleich zu wirken vermag, z. B. in einem Abſtande von 1 bis 2 Zollen, ſo werden die Blaſen, welche ungefähr an der Mitte der beide Eintauchungspunkte verbindenden Linie befindlich ſind, nach einer auf dieſe Linie ſenkrechten Richtung fortgetrieben, aus welcher ſich dann die Richtung der Ströme beurtheilen läßt.

Um die verſchiedenen elektromagnetiſchen Erſcheinungen mit Leichtigkeit darſtellen zu können, ſind von verſchiedenen Phyſikern allgemeine

Digitized by Google

Apparate angegeben worden, von denen ich nur die von Baumgartner und von Ampère anführen will. Der erste gibt folgende Beschreibung seines Apparates.

AB (Fig. 94.) ist ein viereckiges, mit Stellschrauben versehenes, 24 Zoll langes und 10 Zoll breites Bret, das an den Rändern mit einer hervorstehenden Leiste versehen ist und mittelst ihrer gleichsam eine sehr flache viereckige Schale vorstellt. Dieses ist die Basis aller einzelnen elektrodynamischen Apparate. In a und b sind zwei kleine runde Vertiefungen, welche zur Aufnahme der von den Polen des Elektromotors kommenden Drähte bestimmt, und c und d sind die Stellen, wohin die Elektricität der beiden Pole zur Bewerkstelligung des Stromes geleitet werden muß; c ist ein mit doppelter Bohrung versehener Hahn, welcher dazu dient, die Richtung des elektrischen Stroms im Polardrahte umzukehren. Von a und b gehen verdeckte Leitungen aus, die in der Zeichnung durch Linien angedeutet sind. Bei der Stellung des Hahnes, welche in der Basis AB verzeichnet ist, geht der Strom von b durch eine Bohrung des Hahnes nach c, und von a durch eine andere nach d. Hat der Hahn die Stellung, welche in der Seitenzeichnung C enthalten ist, so geht der Strom von b nach d und von a nach c, hat daher eine der vorigen entgegengesetzte Richtung. In f ist eine andere runde, mit einem hohen Rande versehene Vertiefung, in welche sich eine Seitenleitung von g einmündet. Zur Fortleitung der Elektricität aus c und d dienen zwei verticale Säulen, deren jede entweder ganz aus Metall gearbeitet ist, oder aus Holz besteht und im Innern längs ihrer ganzen Höhe einen starken Kupferdraht enthält, der oben und unten vorsteht, unten in die Vertiefung d oder c hineinreicht, oben aber in eine federnde Hülse ausgeht, wie dieses in E vorgestellt ist. Die Säulen werden in c und d, wo passende Schraubenmütter eingezogen sind, eingeschraubt, jedoch sind die Schrauben c und d tiefer, als die Säulen geschraubt werden können, in die übrigbleibende Vertiefung ragt das aus dem unteren Ende der Säule hervorstehende Drahtende hinein.

Die bisher beschriebenen Theile machen dasjenige aus, was bei allen Versuchen gebraucht wird. Zu jedem einzelnen Versuche braucht man aber wieder besondere Stücke. Um die Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom zu erfahren, dient ein gerader Polardraht, welcher durch die Hülsen der beiden Säulen gesteckt wird und so den Strom herstellt. Zu Versuchen über die Einwirkung des Erdmagnetismus auf einen elektrischen Strom braucht man zwei Metallstängelchen g, deren jedes mit einem fein durchbohrten Löffelchen versehen ist und den beweglichen Leiter aufnimmt. Dieser Leiter selbst besteht aus einem einfachen Drahte von der Form h, oder aus einem Pappring i, der mit zwei Spitzen versehen und mit einem Multiplicatordraht umwunden ist, dessen Enden mit den zwei Spitzen communiciren, endlich einem dritten Polardrahte k, der sich um zwei feine horizontale Spitzen dreht und dabei vollkommen äquilibrirt ist. Will man die Wirkung des Erdmagnetismus auf einen um eine verticale Axe beweglichen Polardraht erfahren, so nehme man den Leiter h oder i,

Digitized by Google

bringe ihn mit einer Spitze in die viereckige, mit Queckſilber gefüllte Vertiefung f, mit der anderen in das Loch des Löffelchens des Drahtes g und laſſe den Strom eintreten. Bei Verſuchen über die Einwirkung des Polardrahtes auf einen um eine horizontale Axe beweglichen Leiter werden beide Drähte g gebraucht, in die an denſelben befeſtigten Löffelchen die Axen des Leiters k geſtellt und der Strom bewerkſtelliget. Wählt man ſtatt der Leiter h oder i einen in feinen Spitzen ausgehenden Magnet l, ſetzt ihn mit einer Spitze in das Loch am Löffel des Drahtes g, mit der andren in die Vertiefung des mit Queckſilber gefüllten Baſſins f, ſtellt den Strom her, ſo erfolgt bald die Rotation des Magnetes um ſeine Axe. Wird ſtatt g der Draht m gebraucht, in deſſen unterem gabelförmigen Theile das Barlow'ſche Rad ſo liegt, daß deſſen Spitzen in das Queckſilber in f reichen und ſeitwärts am Rädchen ein Magnet angebracht, ſo erfolgt die Rotation deſſelben um ſeine Axe. Wird ein Platindraht, der mit einer Oehſe verſehen iſt, in dem Löffelchen des Drahtes g aufgehängt, und in dieſe Oehſe ein andres, gegen das untere Ende mit einem Glasknöpfchen verſehene Polardrähtchen eingehängt, wie n zeigt, ſo daß die Drahtſpitze in das Queckſilber in f reicht, in daſſelbe Queckſilber zugleich ein verticaler Magnet befeſtigt, ſo kann man eine Rotation des Polardrahtes um den Magnet bewerkſtelligen. Geht von dem Löffelchen in g ein ſteifer dicker Polardraht in das Queckſilber in f, und ſchwimmt auf demſelben ein feiner unten mit Platin beſchwerter Magnet, ſo kann man ein Rotiren des Magnetes um den Polardraht hervorbringen.

Zum Behufe der Wirkung zweier Polardrähte auf einander dient nebſt dem Drahte k noch ein anderer, dieſem ähnlicher, welcher nicht äquilibrirt zu ſein braucht und ſich auch nicht um Spitzen dreht, ſondern nur die Drähte g umfaßt. Wird dieſer zugleich mit k angebracht, ſo kann man ſich von der Anziehung zweier elektriſcher, nach derſelben Gegend gerichteten Ströme überzeugen. Um auch die Abſtoßung zweier Ströme, die eine entgegengeſetzte Richtung haben, unterſuchen zu können, wird der Leiter k zugleich mit dem Leiter o angewendet, deſſen obere zwei Theile zuerſt mit Seide überwunden und dann zuſammengebunden ſind. Um durch Einwirkung zweier elektriſcher Ströme auf einander ein Rotiren hervorzubringen, wird ein Leiter p ſtatt des Drahtes g gebraucht und mit dem oberen horizontalen Theile in die Hülſe der bei f aufgeſtellten Säule geſteckt. Am oberen Theile des aufwärts gebogenen Armes dieſes Leiters iſt eine kleine Vertiefung, die der Spitze des Leiters q als Pfanne dient. Dieſer Leiter q beſteht aus einem ſchmalen Kupferringe, über dem ſich ein Bügel vertical erhebt; der Biegel iſt aber nur auf einer Seite mit dem Ringe in leitender Verbindung, auf der anderen iſt er mit demſelben durch ein Harzſtängelchen verbunden. Der dritte Theil endlich, welcher zu dieſem Verſuche gehört, iſt ein rundes am Boden durchbohrtes und daſelbſt mit einer Glasröhre verſehenes Glasgefäß r, welches von Außen mit einem Multiplicatordraht umwunden iſt, deſſen eines Ende mit dem Innern des Gefäßes communicirt. Füllt man dieſes Gefäß mit ſäuerlichem Waſſer, ſtellt es ſo an, daß der verticale kürzere Schenkel des Leiters q

Digitized by Google

durch den verticalen Boden von r geht, setzt den Ring q mit der Spitze am Riegel an das Pfännchen des Leiters p, und verbindet das freie Ende des Multiplicators mit dem Quecksilber im Bassin f, so wird der elektrische Strom bald die beabsichtigte Wirkung hervorbringen.

Man darf nicht vergessen, daß beim Gebrauche dieses Apparates die Leitungen an der Basis AB vollkommen sein und wenn auch die meisten derselben durch Drähte hergestellt sind, doch die Verbindung zweier solcher Drahtleitungen durch Quecksilber hergestellt werden muß. Daher müssen vor dem Gebrauche des Apparates die Vertiefungen a, b, c, d mit Quecksilber gefüllt werden, es muß in der Fläche des Hahnes e die Leitung mit Quecksilber hergestellt werden, so daß die Bohrungen des Hahnes damit gefüllt seien.

Die Beschreibung des Ampèreschen allgemeinen Apparates gibt Muncke. Ampères Apparat besteht (Fig. 95.) aus einem Tische, welcher zur Vermeidung nicht gesuchter elektrischer Einflüsse mit einem isolirenden Firniß überzogen ist und von Säuren oder Salzauflösungen frei erhalten werden muß. Um das unvermeidlich aus den kleinen Schälchen herabfallende Quecksilber wegzuschaffen, befindet sich bei P eine Oeffnung, in welche man dasselbe mittelst einer Feder zusammenkehren und in dem Schubkästchen V vereinigen kann. Als wesentliche Theile dieses Apparates sind anzusehen die 2 Paar in einer verticalen Ebene liegenden kleinen Schalen x′, y′; y, x; die sich zugleich zu zwei Paaren in einer horizontalen Ebene liegenden x′, y; y′, x vereinigen lassen und die einzelne Schale S, alle mit etwas Quecksilber gefüllt und die beiden ersteren durch alle Azimute beweglich. Hauptsächlich muß bei einem solchen Apparate dahin gesehen werden, daß die Drähte, durch welche die erregte Elektricität zu den einzelnen Vorrichtungen geleitet wird, am Tische unbeweglich sind, damit man sie während des Experiments nicht zu halten nöthig hat, und daß zugleich der Kreislauf der Elektricität schnell umgekehrt werden kann, damit die einander entgegengesetzten Wirkungen sogleich hervorgehen. Das Erstere erreicht man leicht, indem man die Drähte vermittelst einer auf dem Tische befestigten Klemmschraube p zwischen zwei kleine Bretchen festklemmt, während ihre etwas umgebogenen Spitzen in die Vertiefungen A und a getaucht sind. Schwieriger ist es, den elektrischen Strom augenblicklich zu unterbrechen und seine Richtung umzukehren. Hierzu dient diejenige Vorrichtung, welche im vergrößerten Maßstabe besonders dargestellt ist, mit gleicher Bedeutung der Buchstaben in beiden Figuren (Fig. 96.) Zwei kleine Brücken K und k um eine Axe m, m′, und n, n′, beweglich, sind ohngefähr 1 Zoll über die Fläche des Tisches erhoben und bestehen aus zwei Stücken Kupfer durch gefirnißtes Holz oder Elfenbein isolirt. Die Kupferbleche haben an jeder Seite zwei, im Ganzen also 4 Lappen, welche vermöge durchkreuzender Verbindungen den elektrischen Strom entweder in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung zu leiten bestimmt sind. Wird nämlich die eine dieser Brücken, die links gezeichnete nach der rechten Seite herabgedrückt, so senken sich die dort befindlichen 4 Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C, D; wird sie dagegen nach der linken Seite hin herab-

Digitized by Google

gedrückt, so werden die an dieser Seite liegenden Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C′ und D′ herabgedrückt; sind die Brücken horizontal, so findet keine Verbindung zwischen ihnen und dem galvanischen Leiter statt. Die beiden Vertiefungen stehen mit einander in Verbindung, nämlich C mit C′ und D mit D′ durch Drähte, welche mit Seide umwunden und durch ein Stückchen Glas zwischen ihrer Durchkreuzung von einander isolirt getrennt sind. So wie diese Brücke dem Leiter des einen galvanischen Poles dient, so ist die zweite für den des andern bestimmt, mit einander correspondirenden Buchstaben zur Bezeichnung der einzelnen Theile. Links niedergedrückt sinken also die 4 kupfernen Lappen in die Rinnen B, a und die Vertiefungen c, d; rechts niedergedrückt (Fig. 96.) in B, a und c′, d′. Für die erste Brücke ist eine Verbindung bewerkstelligt zwischen der Vertiefung G und den durch einen Draht oder Kupferstreifen verbundenen Vertiefungen C und C′; deßgleichen zwischen der Vertiefung H und den verbundenen Vertiefungen D und D′. Auf gleiche Weise ist für die andere eine Verbindung hergestellt zwischen c und c′ und dem kleinen Becher S, dessen Höhe vermittelst der Stellschraube z regulirt wird, welche sich unter dem Tische befindet; deßgleichen mit der Säule ET vermittelst des federnden Metallstreifens JJ′, welcher gleichfalls unter dem Tische angebracht ist. Von der andern Seite findet eine Verbindung statt zwischen den Vertiefungen d und d′, und den beiden halbkreisförmigen Rinnen MN, mn mit Quecksilber gefüllt, und mit dem Drahte tuv versehen, welcher nebst der unter ihm fein balancirten Magnetnadel als Galvanometer dient. Von hieraus geht die Verbindung zur Säule FU und der Vertiefung O.

Die Säulen ET, FU sind von Kupfer und dienen dazu, den elektrischen Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung je nach der Lage der beschriebenen Brücken K und k in einem geschlossenen Kreise herumzuleiten, zugleich aber die aufgehangenen Schälchen x, y; x′, y′ mit in diesen Kreislauf einzuschließen. Zu diesem Ende ist die Säule ET vermittelst eines Drahtes mit dem Schälchen X und die Säule FU auf gleiche Weise mit Y verbunden; beide Schälchen sind von einander isolirt getrennt durch ein mit Firniß überzogenes Glasstäbchen, woran sie festsitzen, und stehen in Verbindung X mit x und x′; Y mit y und y′. Je zwei dieser kleinen Schälchen x und y; x′ und y′ bieten für die aufzuhängenden Apparate zwei in einer lothrechten Linie liegende Stützpunkte dar und eben so x und y′; x′ und y zwei in einer horizontalen Ebene befindliche, welche sich vermittelst des Knöpfchens Z durch alle Azimuthe herumdrehen lassen.

Für diejenigen Versuche endlich, in denen der Erdmagnetismus auf die beweglichen Leiter der Elektricität wirken soll, oder die letzteren zugleich in ein Gefäß mit einem flüssigen Halbleiter der Elektricität gesenkt werden, ist es nothwendig, die Rinnen A, B mit einander zu verbinden. Dieses geschieht durch Ueberschlagen des in zurückgelegter Lage gezeichneten, im Charniere q beweglichen Metallstreifens Q, welcher mit zwei Vorsprüngen e, f versehen ist. Hierdurch wird der elektrische Strom durch die beweglichen Leiter geführt, indem er entwe-

Digitized by Google

der die Säulen ET oder FU durchläuft, oder in das Queckſilbergefäß S geleitet wird, je nachdem die beweglichen Apparate in den Schälchen x, y; x', y' oder in S aufgehangen ſind.

Genau an die elektromagnetiſchen Erſcheinungen knüpfen ſich diejenigen Erſcheinungen, welche in neueſter Zeit von Faraday entdeckt worden ſind und die Aufmerkſamkeit aller Phyſiker auf ſich gezogen haben, und von denen ich unter dem Art. Magnetoelektricität reden werde.

Elektrometer (v. d. griech. μέτρον Maß), Elektroſkop (v. d. griech. σκοπεῖν beobachten), Elektricitätsmeſſer, Elektricitätszeiger, iſt der Name verſchiedener Inſtrumente, welche dazu dienen, die Beſchaffenheit und Stärke der Elektricität eines Körpers zu unterſuchen, ſo wie ſolcher Apparate, mittelſt derer die elektriſchen Erſcheinungen in einem beſtimmten Grade der Stärke hervorgebracht werden können. Je nachdem das Inſtrument vorzugsweiſe beſtimmt iſt, ſchwache oder ſtarke Elektricitäten zu beobachten, kann man unterſcheiden Mikroelektrometer (v. d. griech. μικρός klein) und Megaelektrometer (v. d. griech. μέγας groß). Diejenigen Apparate, welche vorzugsweiſe zu Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität benutzt werden, heißen Luftelektrometer; diejenigen endlich, deren man ſich bedient, um die Grade der verſtärkten Elektricität bei Flaſchen und Batterien genauer zu beſtimmen, heißen Auslade- oder Ladungs-Elektrometer.

Die Worte Elektrometer (Elektricitätsmeſſer) und Elektroſkop (Elektricitätszeiger) bezeichnen der Wortbedeutung nach eigentlich verſchiedene Inſtrumente, indem ein Elektrometer eigentlich ein Inſtrument wäre, mit welchem die Elektricität, wo und unter welchen Umſtänden ſie auch vorkommen mag, nach allgemein bekannten Maßen ſo gemeſſen werden könnte, wie etwa der Luftdruck mittelſt des Barometers oder die Wärme mittelſt des Thermometers; Elektroſkop dagegen ein Inſtrument bezeichnet, welches nur im Allgemeinen das Vorhandenſein poſitiver oder negativer Elektricität in größerer oder geringerer Stärke angibt. Die bisher conſtruirten ſogenannten Elektrometer verdienen faſt alle mehr oder weniger nur den Namen von Elektroſkopen, indem zur Herſtellung eines wahren Elektrometers einmal nöthig wäre, daß man die Geſetze der elektriſchen Kräfte mathematiſch genau beſtimmen könnte, ferner, daß die Wirkungen, nach denen jene Kräfte gemeſſen werden, genau quantitativ beſtimmt werden könnten. Bis jetzt iſt man aber noch nicht ſo weit in das Weſen der Elektricität eingedrungen. Die meiſten Elektroſkope und Elektrometer, welche dieſen Namen führen, gründen ſich auf diejenige Wirkung der Elektricität, welche ſich in der Anziehung und Abſtoßung kleiner Körper äußert; ſchon hierdurch iſt aber ihre allgemeine Anwendbarkeit zur Meſſung der Elektricität beſchränkt, indem die galvaniſche Elektricität, welche doch erwieſenermaßen ihrem Weſen nach dieſelbe wie die Reibungselektricität iſt, die Eigenthümlichkeit zeigt, daß ſie oft bei einer ſehr geringen Abſtoßungskraft die heftigſten Wirkungen der Erhitzung, chemiſchen Zerlegung und Hervorbringung von Magnetismus zeigt. Zur Meſſung der

Digitized by Google

galvaniſchen Elektricität bedient man ſich vorzüglich der ſogenannten Galvanometer. S. d. Art. Die ſogenannte Elektrometrie (Elektricitätsmeſſung), welche von ausgezeichneten Phyſikern und Mathematikern ausgeübt worden, bezieht ſich meiſtens nur auf die Stärke der Spannung, welche die durch Reibung erzeugte Elektricität in ungleichen Abſtänden zeigt, indem man ſich bemüht hat, die hierbei ſtattfindenden Geſetze aufzufinden. Ehe ich hierüber einiges Nähere erwähne, will ich die Beſchreibungen der bekannteſten und vorzüglichſten mit dem Namen Elektroſkope und Elektrometer bezeichneten Inſtrumente geben.

Die erſten Elektrometer ſind aus dem im Art. Elektricität angegebenen, zuerſt von Gray beobachteten Erſcheinungen hervorgegangen, daß neben einander hängende Fäden, wenn ihnen Elektricität mitgetheilt wird, einander abſtoßen, welche Abſtoßung aufhört, ſo bald ſie ihrer Elektricität beraubt ſind. Vergl. den Art. Elektricität S. 93. Der erſte, welcher auf den Gedanken kam, zwei neben einander hängende linnene Fäden zu einem Elektrometer zu benutzen, indem er den Winkel beobachtete, welchen die beiden Fäden mit einander machten, ſo bald ihnen Elektricität mitgetheilt wurde, und nach der Größe dieſes Winkels den relativen Grad ihrer Elektricität beſtimmte, war du Fay und nach ihm Nollet. Um ein genaueres Maß dieſes Winkels zu haben, ein anderer leitender Körper mit den Fäden aber nicht in Berührung gebracht werden kann, ohne daß dieſen durch denſelben die Elektricität entzogen wird, ſo ſchlug Nollet vor, den Winkel der Fäden durch ihren auf einem Brete aufgefangenen Schatten mittelſt eines Gradbogens zu meſſen. Waiz bediente ſich ſeidener Fäden, an welche kleine Gewichte oder Metallplättchen ſo aufgehangen waren, daß ſie ſich berührten und die, wenn ihnen ein elektriſcher Körper genähert wurde, ſogleich aus einander gingen. Gralath verfertigte nach Ellicot's Vorſchlag ein Elektrometer, welches in einer Wage beſtand, deren eine Schale über einen elektriſchen Körper gehalten von dieſem angezogen wurde und dann nach Maßgabe der Stärke der Elektricität ein größeres oder kleineres in der anderen Wagſchale liegendes Gewicht emporhob.

Nach du Fay's Einrichtung verfertigte 1753 Canton das noch jetzt in vielen Fällen ſehr anwendbare Korkkugelelektrometer, welches ſehr einfach in zwei an einem linnenen Faden neben einander aufgehängten ſauber abgedrehten Kügelchen von Kork oder Holundermark beſteht. Man kann mittelſt dieſes Inſtrumentes ſehr ſchwache Grade der Elektricität entdecken und auch die entgegengeſetzten Elektricitäten mittelſt deſſelben wahrnehmen. Vergl. d. Art. Elektricität S. 95.

Im Jahre 1772 entdeckte Henly das Quadrantenelektrometer, welches Prieſtley beſchrieben hat. Daſſelbe ſteht (Fig. 97.) auf einem kleinen Geſtelle, von welchem es beliebig abgenommen und an den erſten Leiter oder ſonſt wohin befeſtigt werden kann. Es beſteht aus einem ſenkrecht ſtehenden Stabe, der oben kugelförmig abgerundet iſt und an dem anderen Ende ein Meſſingblech hat, welches man nach Gelegenheit auf den erſten Leiter oder auf den dazu gehörigen Fuß ſetzen kann. An dem oberen Theile des Stabes iſt ein elfenbeinerner

Digitized by Google

in Grade getheilter Halbzirkel befestigt, in dessen Mittelpunkte der Zeiger an einer feinen Axe von Messing steckt. Der Zeiger selbst ist ein sehr feines Stäbchen, welches von dem Mittelpunkte des getheilten Halbcirkels bis an das Messingblech reicht, und trägt an seinem unteren Ende ein Korkkügelchen, welches sehr fein abgedreht ist. Das beste Holz zum Stabe und zum Zeiger dieses Elektrometers ist Buchsbaum. Beide müssen wohl abgerundet und so glatt als möglich sein. Wenn dieses Elektrometer nicht elektrisirt ist, so hängt der Zeiger mit dem Stabe parallel; wird es aber elektrisirt, so weicht er von dieser Lage ab und zeigt an dem Halbcirkel die Grade, aus welchen sich auf die Stärke der Elektricität schließen läßt. Pfaff bemerkt, daß, da auch von der Scheibe aus Abstoßung gegen den Zeiger stattfindet, die Bewegung des letzteren sehr unregelmäßig wird, so wie auch die Reibung des Zeigers an seiner Axe eine Unvollkommenheit ist; zuweilen klemmt sich der Zeiger so, daß er gar nicht in die Höhe steigt.

Eine zu Verbindung mit dem Conductor bequemere Einrichtung, bei welcher auch die beim Henlyschen Elektrometer nachtheilige Seitenrepulsion vermieden ist, hat Langenbucher seinem Elektrometer gegeben. Zwei 6 Zoll lange Glassäulen stehen 3 Zoll weit auseinander, auf der einen befindet sich ein 5 Zoll hohes und 1 Zoll breites messingenes Plättchen, an dessen unteres Ende ein krummgebogener Draht mit einer Kugel eingeschraubt ist. Am oberen Ende hängt ein buchsbaumener Zeiger, aber ohne Korkkugel, herab. Auf der anderen Seite steht ein in Grade getheilter Halbcirkel von Elfenbein oder gedörrtem Holze, dessen Mittelpunkt in den Aufhängepunkt des Zeigers fällt. Alles, die Messingplatte, die Zeiger und den Halbmesser ausgenommen, ist mit Siegellack überzogen. Will man sich dieses Elektrometers bedienen, so wird die Kugel an dem krummgebogenen Drahte mit dem elektrisirten Körper verbunden.

Cavallo verbesserte das von Canton angegebene Elektrometer, indem er es in ein gläsernes Gehäuse einschloß. Adams, welcher mehre derartige Instrumente verfertigte, gab folgende Beschreibung.

Der Haupttheil dieses Flaschenelektrometers (Fig. 98.) ist eine Glasröhre CDMN, welche unten auf das hölzerne oder auch messingene Stück AB gekittet ist, wobei man das Instrument hält, wenn man es zur Untersuchung der atmosphärischen Elektricität gebraucht. Der obere Theil des Rohres CDMN läuft am Ende etwas enger zu, und ist ganz mit geschmolzenem Siegellack überzogen. In dieses enger zulaufende Ende ist eine dünne Glasröhre gekittet, deren unteres, gleichfalls mit Siegellack bedecktes Ende in der Röhre CDMN ein wenig hervorragt. In diese dünne Röhre ist ein Draht gekittet, welcher mit seinem unteren Ende bis an das platte Stück Elfenbein H reicht, das mittelst eines Korkes in die Röhre befestigt ist. Das obere Ende des Drahtes ragt etwa $\frac{1}{4}$ Zoll über die Röhre heraus, und schraubt sich in die messingene Kapsel EF, welche unten offen ist, und dazu dient, die mit Siegellack überzogenen Theile des Instruments gegen den Regen und dergleichen zu sichern. Die konischen Korke P, welche durch ihr Zurückstoßen die Elektricität anzeigen, sind bei diesem Elektrometer so

Digitized by Google

klein, als man sie nur verfertigen kann, und an sehr feinen Silberdrähten aufgehangen. Diese Drähte sind oben in Ringe gebogen und hängen damit sehr lose in dem flachen Stücke Elfenbein H, das zu diesem Behufe zwei Löcher hat. Durch diese Art der Aufhängung wird die Reibung ganz unbedeutend, und daher das Instrument gegen einen sehr geringen Grad der Elektricität empfindlich. TM und KN sind zwei schmale Staniolstreifen, welche an der inneren Seite der Röhre CDMN befestigt sind, und mit dem hölzernen Boden AB in Verbindung stehen. Sie dienen zur Ableitung der Elektricität, welche dem Glase durch Berührung der Korke mitgetheilt wird, und bei einiger Anhäufung der freien Bewegung der Korke hinderlich sein würde.

Wenn man sich des Cavallo'schen Elektrometers bedienen will, um geringe Grade der Elektricität, so wie deren Beschaffenheit (ob sie positiv oder negativ) bemerkbar zu machen, so ist es nothwendig, daß die Korkkügelchen schon vorher elektrisch gemacht worden sind und daher von einander stehen. Es läßt sich aber durch Mittheilung den Korkkügelchen schwer oder gar nicht Elektricität ertheilen, weil die Kappe, von welcher sie herabhängen, so wohl abgerundet als glatt ist, daß sie schwächere Grade von Elektricität gar nicht annimmt und auch selbst von einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange sogar bei der Berührung wenig afficirt wird. Man theilt daher den Korkkügelchen durch Vertheilung*) Elektricität mit, zu welchem Zwecke man, je nachdem man die eine oder die andere Elektricität den Korkkügelchen ertheilen will, eine geriebene Glasröhre oder Siegellackstange der Kappe ohne das Glas zu berühren nähert. Die Kügelchen gehen aus einander, indem sie eine dem genäherten Körper gleichartige Elektricität annehmen. Berührt man, ohne den elektrischen Körper vorher zu entfernen, mit dem Finger die Kappe, so fallen die Korkkügelchen zusammen, gehen aber sogleich wieder eben so weit wie vorher von einander, wenn man nun erst den Finger von der Kappe und dann den elektrischen Körper entfernt. Jetzt aber gehen die Kügelchen mit der entgegengesetzten Elektricität wie vorher auseinander, d. h. wenn der genäherte geriebene Körper eine Glasröhre war, mit negativer, wenn er eine Siegellackstange war, mit positiver Elektricität. Diese Elektricität und die daraus folgende Divergenz behalten die Kügelchen sehr lange, bei trockener Witterung stundenlang, und man kann sie daher in diesem Zustande benutzen, um die Elektricität irgend eines geriebenen Körpers an ihnen zu prüfen. Ist nämlich die Elektricität des genäherten Körpers die gleichnamige derjenigen, welche die Kügelchen haben, so gehen diese noch weiter auseinander; ist sie aber die entgegengesetzte, so gehen die Kügelchen zusammen.

Bei weitem empfindlicher als alle bisher erwähnten Elektrometer ist das von Bennet, bei dem an die Stelle der Korkkügelchen Goldblättchen gesetzt sind, und welches daher den Namen Goldblattelektrometer erhalten hat. Die Kügelchen von Kork oder Holundermark haben auch die Unvollkommenheit, daß sie zuweilen an einander einige Zeit

*) S. d. Art. Elektricität S. 102 ff.

haften bleiben, bis sie dann mit einem gewissen Ruck aus einander gehen, ein Nachtheil, welcher bei dem Bennetschen Elektrometer vermieden werden kann. Die wesentliche Einrichtung des Goldblattelektrometers ist folgende. Zwei Streifchen von geschlagenem Golde ungefähr 2 Linien breit und 18 bis 20 Linien lang hängen an der Seitenfläche eines keilförmig zugeschnittenen Stückes Holz oder Zinn (Fig. 99.) b, woran sie mit ein wenig Eiweiß oder Firniß angekittet werden, dicht neben einander und parallel mit einander in der Mitte eines Glascylinders herunter, welcher etwa $3\frac{1}{2}$ Zoll hoch ist und $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hat. Damit diese Glasröhre noch besser isolire, wird der obere Theil derselben ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll weit mit Siegellack überzogen. Der untere Theil der Röhre paßt knapp in eine messingene Einfassung, welche an den Seiten mit Leder oder Sammet ausgefuttert und unten an den hölzernen Fuß des Instrumentes angeschraubt ist. An den metallenen Deckel q von 4 Zoll im Durchmesser ist ein mit starkem Seidenzeuge gefütterter Ring eingelöthet, welcher um den obern Theil der gläsernen Röhre genau schließt. Der metallene Deckel q ist auch mit einem $\frac{1}{4}$ Zoll breiten niedergehenden Rande m versehen, um dadurch die Glasröhre bei Versuchen im Regenwetter gegen die Nässe zu schützen. In der Mitte des Deckels ist ein Loch von 10 Linien im Durchmesser, worin das Stück d eingeschraubt wird, an welches die kleine messingene Röhre a gelöthet ist, worein das Stück Holz oder Metall b gehörig eingepaßt ist. Von außen wird auch an dieses Metallstück ein 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß langer zugespitzter eiserner oder messingener Draht bei Untersuchung der atmosphärischen Elektricität angeschraubt. Das ganze Stück d läßt sich bequem herausnehmen, um die Goldstreifen ankleben zu können. Innerhalb der Glasröhre sind an zwei entgegenstehenden Seiten 3 bis 4 Linien breite Stanniolstreifen c, c angeleimt, um die Elektricität von den Goldstreifchen, welche bis dahin aus einander fahren, aufzunehmen und durch den Boden fortzuleiten. In derselben Absicht hat Böckmann auch den unteren Boden des hölzernen Fußes mit Stanniol überzogen.

Um die Goldstreifchen so an das Elektrometer zu befestigen, daß sie parallel mit einander herabhängen, hat Cavallo folgende Methode angegeben: Wenn die Streifen geschnitten sind und auf Papier oder dem ledernen Kissen liegen, werden sie der Länge nach gleich gemacht; hierauf schneidet man zwei Stückchen feines Goldpapier jedes etwa $\frac{1}{2}$ Zoll lang und $\frac{1}{4}$ Zoll breit und befestigt diese mit ein wenig Wachs an beide Streifen, nämlich einen an das Ende des einen, das andere an das Ende des anderen Streifen, so daß ungefähr die Figur des Buchstaben T herauskommt. Hierauf wird nun eines von jenen Stückchen Papier sammt dem Goldblattstreifen mit dem Finger der einen und das andere mit dem Finger der anderen Hand in die Höhe gehalten, alsdann beide an einander gebracht und so zusammengerückt, daß sie beide parallel und glatt hängen. Nun werden beide Stückchen Papier, welche jetzt auf einander liegen, zwischen eine Art von Zange von Messingdraht oder sehr dünn gehämmerten Messingplättchen, welche an dem unteren Theile des Deckels des gläsernen Gefäßes befestigt ist,

Digitized by Google

geklemmt. Da dieses Instrument äußerst empfindlich ist, so muß es zu den oben angegebenen Mikroelektrometern gerechnet werden.

Pfaff fügt der Beschreibung dieses Instrumentes noch die Bemerkungen bei, daß für alle Versuche mit Ausnahme derjenigen über die Luftelektricität es viel besser ist, wenn die obere messingene Fassung eine so kleine Oberfläche als möglich hat. Pfaff bedient sich daher, wie er sagt, am liebsten enghalsiger in der größten Weite des Bauches 4 Zoll haltiger kleiner Glasglocken, wodurch dann die obere messingene Fassung nur eine sehr kleine Oberfläche erhält und zugleich der Raum für die Divergenz der Goldblättchen größer wird. Diese messingene Fassung dient zugleich als Schraubenmutter, um das Messingstück, an welchem der keilförmig zugeschnittene Metallstab von Zinn zur Ankleburg der Goldblättchen angelöthet ist, einzuschrauben, welches Messingstück einen schraubenförmig eingeschnittenen Stiel hat, um entweder eine Kugel oder die Platte eines Condensators aufschrauben zu können. Um die Isolirung der Goldblättchen noch vollkommner zu machen, kann man auch die obere messingene Fassung ganz weglassen, indem der Metallstift für die Goldblättchen unmittelbar in eine außen und innen mit Siegellack überzogene Glasröhre eingekittet wird, welche ihrerseits in einen gleichfalls mit Siegellack überzogenen durchbohrten Kork befestigt ist, der in die obere Mündung des Halses der kleinen Glocke vollkommen genau paßt. Pfaff sagt, daß die Anklebung der Goldblättchen an die Fläche des keilförmigen Endes des Metallstiftes gar keine Schwierigkeiten habe und von jedem Buchbinder leicht beschafft werden könne. Pfaff bemerkt ferner, daß, indem es von großer Wichtigkeit sei, daß die Fläche der Goldblättchen parallel mit der Fläche der Stanniolblättchen an den Wänden des Gefäßes sei, dieses bei der von ihm angegebenen zweiten Einrichtung leicht durch eine angemessene Drehung des Korkes erreicht werde. Bei der ersten Einrichtung mit der messingenen Fassung legt man zwischen das Messingstück, welches eingeschraubt werden soll und die messingene Fassung ein zusammendrückbares Plättchen Blei oder Stanniol und zieht die Schraube so lange an, bis die Goldblättchen vollkommen parallel mit den Stanniolblättchen sind. Damit die Goldblättchen nicht an einander haften, muß der Keil am Metallstifte so zugeschnitten werden, daß die Goldblättchen, wenn sie an die Seitenwandungen desselben bis an die untere Schärfe angeklebt sind und parallel neben einander herabhängen, ein klein wenig von einander abstehen. Pfaff führt endlich noch zwei Verbesserungen an, welche Parrot dem Goldblattelektrometer gegeben hat, um die Empfindlichkeit desselben zu erhöhen und um seinen Gang regelmäßiger zu machen.

Parrot bedient sich nur eines Goldblättchens, die Stelle des anderen vertritt ein unbeweglicher Metallstab ef, (Fig. 100.) von derselben Breite wie das Goldblättchen, und vergoldet, der neben demselben herabgeht, sich nach oben bis d verlängert, und daselbst umgebogen ist, um die eine Condensatorplatte aa anschrauben zu können und in eine Glasröhre dc eingekittet, die durch eine Hülse von Metall rs an die Glasplatte AB angekittet wird, durch welche sie $\frac{2}{3}$ ihrer Länge hindurchgeht. Eine andere Metallstange ist in einem Charniergelenke durch den Fuß it auf

der Metallplatte EF aufgeschraubt, die das Ganze trägt, und selbst auf drei Schraubenfüßen ll ruht, durch welche der Metallstab ef in eine genau verticale Lage gestellt werden kann. Das Charnier ist so eingerichtet, daß man die andere Scheibe des Condensators bb bis in die Lage xy bringen und wieder in die verticale Lage parallel mit aa und nicht weiter bringen kann. Eine kleine Handhabe g, die an die Stange cl befestigt ist, dient diese Bewegungen vorzunehmen. Das gläserne Gehäuse des Elektrometers ist übrigens von länglicher viereckiger Gestalt, wie die Zeichnungen angeben. Da die bei dem gewöhnlichen Goldblattelektrometer an den Seiten des Glases angebrachten Stanniolstreifen auf die Goldblättchen wirken, und durch Anziehung ihre Divergenz vermehren, und zwar um so stärker, je größer ihre Divergenz ist, so substituirte Parrot denselben einen aus einem Messingdrahte verfertigten Bogen km, (Fig. 101.) der mit seinen Füßen nn mit der Metallplatte KJ, welche den Boden des Glaskastens ausmacht, verbunden ist. Der Mittelpunkt dieses Bogens ist in o, derjenige Punkt, wo das Goldblättchen an den Stab angeleimt ist, das also den Radius desselben bildet, und der Bogen äußert also eine ganz gleichförmige Wirkung auf das Goldblättchen, in welcher Lage sich auch dasselbe befinden möge. Um die Empfindlichkeit dieses Elektrometers noch mehr zu erhöhen, hat Parrot demselben noch eine andere Einrichtung gegeben. Der Bogen wird nämlich weggelassen, und an der Stelle desselben befindet sich ein vertical parallel mit dem Goldblättchen aufgerichteter Metallstab qr, (Fig. 102.) der an einem in halbe Linien getheilten horizontalen Metallstabe rs befestigt ist. Indem der letztere sich über einem anderen in der Metallplatte KI befestigten Stabe fortschieben läßt, kann der verticale Metallstab bis zur Stange ef, an welcher das Goldblättchen hängt, einerseits beliebig genähert, andrerseits so weit davon entfernt werden, daß er keinen merklichen Einfluß mehr auf dasselbe ausübt, selbst wenn das Goldblättchen bis 90° divergirt.

Wenn das Goldblättchen um einige Grade divergirt, so muß diese Divergenz mit der Annäherung des Stabes zunehmen, bis es bei gehöriger Annäherung zum Anschlagen kommt. Um die Empfindlichkeit dieses Elektrometers darzuthun, führt Pfaff einen Versuch an. Näherte man den Stab bis auf eine Entfernung von einer halben Linie von dem Goldblättchen, wenn dasselbe keine größere Divergenz als von 0,12 eines Grades hatte, so nahm die Divergenz bis auf 2°,25 in demselben Augenblicke zu, wenn die Berührung eingetreten war. Die Divergenz war also jetzt 18,75 mal größer als vorher, um eben so viel mal war also auch die Empfindlichkeit des Elektrometers erhöht worden. Ueberhaupt zeigte sich, daß je schwächer die Elektricität ist, desto größer die Vervielfältigung der Grade ist, wenn das Goldblättchen anschlägt.

De Luc hat im Jahre 1786 ein sogenanntes Fundamentalelektrometer angegeben und zugleich Vorschriften mitgetheilt, wie dieses Elektrometer dazu dienen könne, andere Elektrometer für alle Fälle von größerer oder geringerer Intensität der Elektricität zu verfertigen, so daß man hierdurch allgemein vergleichbare Elektrometer erhielte. Zuerst

Digitized by Google

bemerkt De Luc, daß man elektrometrische Beobachtungen in der Nähe einer in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine niemals mit Genauigkeit anstellen könne, weil durch diese die Luft mitelektrisirt werde und hierdurch bei leicht beweglichen Körpern (wie sie bei den Elektrometern vorkommen) Bewegungen hervorgebracht würden, welche nicht von den Ursachen abhängen, deren Wirkungen sie bestimmen sollen. Daher müsse man sich stets von der ersten künstlichen Quelle der Elektricität (der Elektrisirmaschine) entfernen und sich lieber mittelst einer Leidner Flasche damit versehen, welche für alle Versuche dieser Art mehr als hinreichend sei. Als besonders geeignet zu diesen Versuchen gibt De Luc folgende Flasche an. Sie ist bis auf die kleine Verengerung ihrer Oeffnung cylindrisch, ihre ganze Höhe $5\frac{1}{4}$ engl. Zoll und ihr Durchmesser $2\frac{7}{8}$ Zoll, die Belegungen von innen und außen erstrecken sich bis $1\frac{1}{4}$ Zoll von oben und der übrige Raum, welcher nicht belegt ist, ist mit einem Firniß überzogen. Ihre Oeffnung ist mit einer hölzernen Scheibe verschlossen, durch welche der Stiel des Knopfes geht. Der Knopf selbst hat ungefähr $\frac{7}{8}$ Zoll im Durchmesser. Nach dieser Flasche hat er die Krümmungen der Theile seines vorzüglichsten Apparats bestimmt, indem alles so beschaffen sein mußte, daß, wenn man den Apparat mit dem Knopfe der Flasche in ihrer stärksten Ladung berührte, sich hier kein Büschel bildete. Es bestimmte also auch dieses die Größe der Kugeln des Elektrometers, die Kugeln selbst sind statt der sonst gewöhnlichen Korkkügelchen oder Holundermarkkügelchen von Silber und hohl an Strohhalmen aufgehängt, welche er bei seinen elektrischen Versuchen am vortheilhaftesten fand. Auch macht er nur die eine von beiden Kugeln beweglich, weil die Beobachtungen geschwind angestellt werden müssen und es schon nicht leicht ist, daß man die gegenseitige Stellung zweier Gegenstände, wenn sie in gewisser Weite von einander entfernt sind, so wie das Stäbchen der Kugeln und die Skale, gut beobachten kann. Außerdem aber findet noch bei der Bewegung einer einzigen Kugel der Vortheil statt, daß man ihre Beweglichkeit durch ein oben angebrachtes Gegengewicht beträchtlich vermehren kann.

Das Fundamentalelectrometer de Luc's ist in der Fig. 103. in einem Durchschnitte durch die Axe aller Theile abgebildet. Sein Fuß a a ist von Holz, und unten mit einer Platte von Blei b b verbunden, damit das Instrument fest stehe. Auf den Fuß ist ein Stückchen Holz c angeschrauber, welches den isolirenden Theil d d trägt, der aus einer Röhre von innen und außen überfirnißten Glases besteht. Oben an dem gläsernen Stabe ist eine Verbindung von verschiedenen Stücken aus Buchenholz, an welche alle Theile des Instruments befestigt sind. Das vorzüglichste Stück davon ist das durch e f vorgestellte, dessen Zapfen f in die Röhre geht, wo es sich mit sanftem Anreiben umdreht. Quer durch dieses Stück geht horizontal eine Glasröhre g g von innen und außen überfirnißt, und welche ein Stäbchen von Messing einschließt, welches dem Elektrometer zum Leiter dient. Das eine Ende dieses Stäbchens geht mit einer Schraube in einen messingenen Cylinder h, und das andere in eine messingene Kugel i. Schraubt man diese letz-

Digitized by Google

tere stark ein, indem die Kugeln vertical hängen, so gibt man diesem Stande Festigkeit.

Die unbewegliche Kugel klm ist an dem Punkte k durch das hölzerne Stück kl aufgehängt, dessen Theil l in einen Halm geht, welcher dieser Kugel zum Stäbchen dient, und an dem sie geleimt ist. Das hölzerne Stück k, dessen Schnitt die Figur darstellt, ist flach und geht etwas gedrängt in eine Oeffnung des messingenen Cylinders h, wo es durch einen Stift gehalten wird. Diese Oeffnung, welche durch eine punktirte Linie vorgestellt ist, erlaubt dem Stücke k eine kleine Bewegung an seinem Stifte. Dieses dient dazu, die Kugel in Berührung mit der anderen zu bringen, wenn letztere gehörig hängt. Das Aufhängen dieser letzteren geschieht am Punkte p in einer Gabel po, deren Zapfen o mit etwas starkem Reiben in den Cylinder h geht.

Die Scale rs ist aus Buchenholz, etwa ¼ Linien dick und mit Papier bedeckt, welches mit Kleister aus Stärkemehl angeklebt und unter einer Presse oder unter einem Gewichte von zwei flachen Körpern getrocknet ist: sein Rand muß, wie alle elektrische Stücke am Apparate, abgerundet sein. Der Halbmesser ps der Skale beträgt 4 französ. Zoll; es ist hinreichend, auf selbige 40 Grade zu tragen, weil für größere Grade der Elektricität das Fundamentalelektrometer nicht mehr gebraucht werden soll. Diese in Ansehung des Gewichtes sehr leichte Scale wird von einem kleinen gläsernen Stäbchen vermittelst einer bloßen Röhre von aufgerolltem und geleimtem Papier, welches mit Leim hinter die Skale in r befestigt ist, getragen; diese Röhre ist in der Figur durch eine punktirte Linie vorgestellt. Das andre Ende des Stäbchens geht in einen Wirbel von Holz t. Das Stück uu ist ein Ring, welcher sich mit etwas starker Friction umdreht; in diesem Ringe geht mit gleicher Friction der Wirbel t. Die ganze Einrichtung verstattet viererlei Bewegungen, wodurch man der Scale ihre gehörige Stellung geben kann: 1, man bringt sie in eine verticale Ebene, indem man die kleine papierne Röhre auf dem gläsernen Stäbchen zum Punkte r dreht; 2, man bringt sie in eine bestimmte Entfernung von der Kugel, indem man den Ring uu dreht; 3, man macht den Halbmesser, welcher dem Grade der Scale entspricht, vertical durch Bewegung des Wirbels t; 4, endlich läßt man diesen Halbmesser mit der beweglichen Kugel correspondiren, indem man das gläserne Stäbchen, welches in dem Wirbel t oder der gläsernen Röhre r fortgleiten kann, verlängert oder verkürzt. In diesem Zustande muß der Mittelpunkt, aus dem die Scale beschrieben ist, mit dem Aufhängepunkte der beweglichen Kugel horizontal sein.

Das Stäbchen der beweglichen Kugel n ist aus einem Strohhalme gemacht, welcher sehr gerade, und mit einer kleinen scharfen Feile an dem obern Theile eines Gliedes abgeschnitten sein muß, wo man den Knoten nebst einem kleinen Ende der folgenden Röhre stehen läßt. Dieses Ende paßt man gleichsam einschraubend in die dünne Hülse der Kugel n ein. In dem Aufhängepunkte p hängt der Strohhalm an einem Ringe, durch welchen ein stählerner Zapfen rechtwinklig durchgesteckt ist. Uebrigens läßt sich das ganze Pendel aus dem Aufhängepunkte

Digitized by Google

sehr leicht herausnehmen. Zum Aufnehmen dieses Punktes, und zur Verbindung desselben mit einem gläsernen überfirnißten Stäbchen y z dient die kleine messingene Röhre x x x x.

Der Zapfen o, welcher in den Cylinder h tritt, ist bei o umgebogen. Indem man den Ring um den Zapfen dreht, stellt man das Stäbchen dieser Kugel an dieselbe Ebene mit der unbeweglichen Kugel, und man macht diese Ebene vertical, indem man den Leiter in der Glasröhre g g dreht.

Die hohle Kugel n von Silber muß genau 7 franz. Linien im Durchmesser halten; die Entfernung am Aufhängepunkte vom Anfange der Kugel an gerechnet muß 4 Zoll 8 Linien sein, und die Länge des Stäbchens y z von überfirnißtem Glase, welches die Kugel q trägt, von dem Aufhängepunkte bis zur Spitze dieser Kugel 2 Zoll 9 Linien. Das Gegengewicht q muß dem Pendel angepaßt werden. Es besteht dieses aus einer Kugel von Siegellack. Die silberne Kugel muß durch allmäliges Abdrehen so eingerichtet werden, daß sie mit dem daran befindlichen Halme, jedoch ohne Gegengewicht, dem Aufhängepunkte p horizontal auf eine Gabel gelegt, auf der Schale einer empfindlichen Wage genau mit 30 Gran nach englischem Troygewicht oder $24\frac{5}{8}$ nach französ. Markgewicht im Gleichgewichte steht. Das Gegengewicht q mit dem Glasstäbchen y z muß nachher dem Pendel so angepaßt werden, daß in der erwähnten horizontalen Lage des Ganzen von dem Gewichte der silbernen Kugel nur noch $7\frac{1}{2}$ englische Gran übrig bleiben.

Das eben beschriebene Fundamentalelektrometer wird stets gebraucht, wenn unmittelbar eine Leidner Flasche von mittlerer Größe elektrisirt wird, indem bei kleinern Dimensionen des Elektrometers Strahlenbüschel entstehen würden. Kommt es dagegen nur darauf an, die Wirkung eines elektrischen Körpers auf andre Körper zu untersuchen, so kann man sich kleinerer Elektrometer bedienen. De Luc hat deßwegen eine zweite Art von Elektrometern angegeben, welche in ihren Dimensionen halb so groß als das Fundamentalelektrometer sind; nur die Höhe des Fußes und die Länge des kleinen Leiters g g sind eben so groß wie beim Fundamentalelektrometer. Um diese zweite Art von Elektrometern mit der ersten in Uebereinstimmung zu bringen, werden sie mit einander durch ihre Knöpfe in Verbindung gebracht und beide gemeinschaftlich elektrisirt; die Anfangs etwas zu groß genommene Lackkugel des Gegengewichts wird dann so weit verkleinert, bis beide Elektrometer übereinstimmend gehen. Wenn man die Kugeln der Elektrometer außer den Wirkungskreis des elektrisirten Körpers bringen will, so müssen die Leiter g g durch ein eingeschraubtes messingenes Stäbchen verlängert werden.

Um die Elektricität in sehr kleinen Körpern zu untersuchen, bedient sich de Luc ganz kleiner, aber den größeren ähnlicher Elektrometer. Ein solches kleines Elektrometer besteht aus zwei Glashälmchen, die man an dem Stengel gewisser Pflanzen sehr dünn findet; auch hier ist der eine Halm unbeweglich, der andere beweglich, und an beiden Enden derselben ist ein Tropfen Siegellack angebracht, um die Zerstreuung der Elektricität zu verhüten. Bei dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine kann das Fundamentalelektrometer nicht gebraucht werden, weil es den-

Digitized by Google

selben ohne Aufhören durch Büschel entladen würde, eben so wenig kann es bei Körpern mit schwacher Elektricität, z. B. unter Einem Grade angewendet werden. Für diese Fälle hat daher de Luc noch andere elektrometrische Werkzeuge angegeben, welche er elektrische Megameter und Mikrometer nennt.

Bei einem elektrischen Megameter müssen die Kugeln groß sein, damit die Maschine an demselben keine Feuerbüschel erzeuge. Alle Elektroskope, die man bisher an die ersten Leiter der Elektrisirmaschine angebracht hat, haben den Fehler zu kleiner Kugeln. Kugeln von 2 Zoll im Durchmesser sind für mittelmäßige Maschinen schon nicht zu groß und bei noch größeren Maschinen kann man Kugeln von 3 bis 4 Zoll Durchmesser nehmen. Der Leichtigkeit wegen kann man auch kleine ausgehöhlte Kürbisse gebrauchen, welche man sorgfältig vergolden läßt. Das Gestell dieser großen Kugeln unterscheidet sich von dem beim Fundamentalelektrometer nur durch die Größe der Theile, und statt des Strohes wird Schilf genommen. Der Fuß richtet sich nicht nach der Größe der Kugeln, sondern muß eine der Maschine angemessene Höhe und Form haben; der durchgeschnittene Ring, welcher die Axe der beweglichen Kugel trägt, nimmt im Bezug auf seine Dicke nicht im Verhältnisse mit seinem vergrößerten Durchmesser zu; der Leiter endlich, welcher in seiner Glasröhre das elektrische Fluidum nicht zerstreut, braucht nicht im Verhältniße der Kugeln vergrößert zu werden. Wenn das Fundamentalelektrometer 40° zeigt, so muß das Megameter nur 4° zeigen, und dieses Verhältniß wird durch das Gegengewicht bewirkt. Um beide zugleich zu beobachten, muß der erste Leiter der Maschine nur eine einzige Spitze haben, welche an das Ende eines hölzernen Stücks gesetzt ist, damit er sich sehr langsam lade. Man bringt sodann die beiden Elektrometer an ihn und läßt die Maschine stufenweise wirken, bis die Kugel des Fundamentalelektrometers auf 40° steht. Zeigt dann das Megameter auf seiner Skale 4°, so ist es richtig; sonst muß man es durch das Gegengewicht dahin bringen, indem man entweder die Größe der Lackkugel oder die Länge des Glasstäbchens verändert. Nach dieser Einrichtung des Megameters sind die Grade desselben Zehnfache der Grade des Fundamentalelektrometers. De Luc bemerkt hierbei, daß die starken Grade der Elektricität, welche über die Scale seines Fundamentalelektrometers hinausgehen, wegen der starken Zerstreuung in der Luft überhaupt sehr schwankend und beständigen Sprüngen und Fällen unterworfen sind. Es sei auch schwierig, den stärksten Grad der Elektrisirung, dessen eine Elektrisirmaschine fähig ist, zu bestimmen. Der Grad der Elektrisirung nehme bis zu einem gewissen Größten zu, wenn man die Maschine schnell drehe; dann aber schwinge die Kugel des Megameters so stark, daß man über nichts urtheilen könne; drehe man aber die Maschine langsam oder vermindere die Zahl der Spitzen, welche die Elektricität einsaugen, so bleibe man ohne Zweifel unter dem stärksten Grade der Elektrisirung zurück.

Von den elektrischen Mikrometern gibt de Luc zwei verschiedene Arten an. Die Pendel dieser beiden Arten sind von gleicher Länge und Beschaffenheit wie das Pendel des Fundamentalelektrometers, weil sie

Digitized by Google

diesem müssen substituirt werden können, und die Kugeln sind von verschiedener Größe und von verschiedener Substanz. An dem ersten Mikrometer ist die Kugel von Holundermark, im Durchmesser von 4¼ paris. Linien, und hat statt des Strohhalmes ein Hälmchen von Heu. Auch ist das Glasstäbchen zum Gegengewicht dünner und kürzer als beim Fundamentalelektrometer; und hat am Ende statt einer auf der Drehbank abgerundeten Kugel eine kleine mit den Fingern abgerundete Masse von Siegellack. Wenn dieses Elektrometer mit einem Fundamentalelektrometer in Verbindung ist, so muß seine Kugel sich auf 40° erheben, wenn die andre sich auf 4° erhebt; dadurch werden die Grade des ersten Mikrometers Zehntheile von denen des Fundamentalelektrometers sein. Das zweite Mikrometer ist dem ersten völlig ähnlich, nur in Ansehung der Dimensionen verschieden. Die Kugel ist ebenfalls von Holundermark, im Durchmesser aber nur 2½ paris. Lin. Das Hälmchen Heu, welches sie trägt, ist sehr dünn; die Röhre zum Aufhängen sehr leicht, und das Gegengewicht dem Gange, welchen diese kleine Kugel haben muß, proportionirt. Das Pendel desselben wird durch sein Gegengewicht so justiret, daß es 40° anzeigt, wenn das erste Mikrometer 4° zeigt. Auf diese Weise werden seine immer auf derselben Scale angezeigten Grade Hunderttheile von denen des Fundamentalelektrometers. Weil diese beiden Mikrometer sehr kleine Kugeln haben, so muß die unbewegliche Kugel (Fig. 103.) m an selbige so nahe gerückt werden, daß sie diese in der verticalen Lage berührt.

Da bei den de Luc'schen Elektrometern alles nach Maß und Gewicht bestimmt ist, so scheint man nach diesen Angaben allgemein vergleichbare Elektrometer construiren zu können; Pfaff bemerkt indessen, daß in der Ausführung selbst fast unüberwindliche Schwierigkeiten sich finden dürften, indem auch nur ganz kleine kaum vermeidliche Abweichungen in dem Gewichte der Kugeln, in ihrer Krümmung, in ihrer Beweglichkeit, in ihren Aufhängungspunkten u. s. w. schon von merklichem Einflusse sein möchten.

Bei weitem größeren Eingang als de Luc's Vorschläge haben die von Volta gefunden. Zu Beobachtung geringer Grade der Elektricität und namentlich der Luftelektricität schlägt Volta vor, statt der bisher gewöhnlich gebrauchten Metalldrähte mit Kork- oder Holundermarkkügelchen Strohhalme von ¼ Linie Dicke ohne Kugeln in Anwendung zu bringen. Diese Strohhalme werden in leicht beweglichen Ringen nahe neben einander (aber nicht bis zur Berührung, damit sie nicht an einander haften) in vierseitigen gläsernen Flaschen aufgehangen. Die Flaschen haben eine Breite von 20 bis 26 paris. Linien, und ihre eine Seitenfläche ist mit einem Papierstreifchen versehen, auf dem sich eine Scale befindet, um das Auseinandergehen der Halme zu messen. Da die Halme eine größere Oberfläche als dünne Metalldrähte mit Kügelchen besitzen, so stoßen sie einander weit stärker als diese ab. Bei der einfachen Einrichtung der Volta'schen Elektrometer lassen sich leicht gleiche Elektrometer verfertigen, wenn man zu denselben gleich große und gleich gestaltete Flaschen, gleich lange und gleich starke Strohhalme und gleiche Scalen nimmt; auch kann man Instrumente von verschie-

Digitized by Google

dener vergleichbarer Empfindlichkeit erhalten durch Abänderung der Dicke und Länge der Strohhalme. Volta nahm zu den empfindlichsten Elektrometern Strohhälmchen von 2 parif. Zoll Länge und $\frac{1}{6}$ Linie Dicke. Ein geringer Unterschied in der Dicke war von nur unbedeutendem Einflusse. Je dünner die Strohhälmchen genommen werden, desto näher können sie, ohne sich zu berühren, mit ihren Axen gebracht werden.

Um ein minder empfindliches Elektrometer zu erhalten, nimmt man Strohhälmchen von 1 parif. Zoll Länge und von einer verhältnißmäßig größeren Dicke. Die Empfindlichkeit des Elektrometers kann auch durch Vermehrung des Gewichts der Strohhalme vermindert werden, indem die kleinen Metalldrähte, welche in sie hineingesteckt werden, von größerer Länge genommen werden.

Man kann dem Strohhalmelektrometer auch eine Einrichtung geben, bei welcher es mit dem Henlyschen Quadrantenelektrometer vergleichbar wird. Zu dem Ende läßt Volta den Zeiger, welcher in einem Kügelchen sich endet, zwischen zwei in Grade getheilten Halbkreisen spielen, auf welche Weise am besten die Seitenabstoßung vermieden wird, welche bei dem Henlyschen Elektrometer (s. oben S. 218.) von nachtheiligem Einfluß ist. Um derartige Quadrantenelektrometer vergleichbar zu machen, müssen zwei feste Punkte angenommen und der Abstand beider von einander muß in gleiche Theile getheilt werden. Als einen dieser Punkte nimmt man natürlich denjenigen an, auf dem sich der Zeiger befindet, sobald die Elektricität 0 ist; derselbe wird als der Nullpunkt der Scale angenommen. Zu Bestimmung des zweiten festen Punktes bei 45° des Halbkreises schlägt Volta vor, eine messingene Platte von 5 Zoll im Durchmesser und am Rande 3 bis 4 Linien dick zu nehmen, an einem recht empfindlichen Wagebalken aufzuhängen, so daß sie grade 2 parif. Zoll von der Oberfläche einer unterhalb befindlichen mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden Metallplatte oder auch nur eines recht ebenen Tisches absteht; und eine Leidner Flasche so weit zu laden, daß die Elektricität, welche sie dieser isolirt aufgehängten Scheibe mittheilt, eine hinlänglich starke Anziehung veranlaßt, um dadurch eben das Gewicht von 12 Gran zu überwinden. Diese Spannung der Leidner Flasche gibt dann den zweiten festen Punkt des Quadrantenelektrometers, dessen Zeiger man durch Vergrößerung oder Verkleinerung der an ihn befestigten Kugel so zurichten kann, daß er dadurch grade auf 45° gehoben wird. Die so eingerichteten Quadrantenelektrometer stimmen, wie in den festen Punkten so auch in den übrigen Graden, mit einander überein. Ein solches Quadrantenelektrometer kann auch mit dem Strohhalmelektrometer vergleichbar gemacht werden; Volta bemerkt indeß, daß das Quadrantenelektrometer nur vom 10. bis zum 40. Grade und von völliger Genauigkeit die Rede sei, wenn nur vom 15. bis 35. Grade einen gleichförmigen und mit dem Gange des Strohhalmelektrometers vergleichbaren Gang habe; unterhalb und oberhalb dieser Grade aber Correctionen erfordere, indem es im Anfange viel langsamer steige und bei den ersten Graden eben so viel Elektricität nöthig sei, um den Zeiger um Einen Grad zu erheben, als zwischen 15 und 35 um 3 Grade. Nimmt man aber auf die durch Versuche aus-

Digitized by Google

zumittelnden Abweichungen Rücksicht, so läßt sich nach Volta das Henly'sche Quadrantenelektrometer durch seine ganze Scale mit dem Strohhalmelektrometer vergleichbar machen; und wenn man sich auf diese Weise eine Folge von 4 Elektrometern, nämlich 2 Flaschenelektrometer von Strohhälmchen und 2 Quadrantenelektrometer vorrichtet, wovon 5° des empfindlichsten gleich 1° des zweiten, 10° von diesem zweiten gleich 1° des ersten, und 5° von diesem gleich 1° des zweiten Quadrantenelektrometers sind, so sei man im Stande, damit 1450 Grade des empfindlichsten Elektrometers zu umfassen und innerhalb dieser Grenzen die Stärke der Elektricität mit Genauigkeit zu bestimmen.

Von den bisher beschriebenen Elektrometern weichen wesentlich diejenigen ab, welche le Roy und d' Arcy angegeben haben.

Es wird ein etwas großes Gefäß (Fig. 104.) abcd ganz voll mit Wasser gefüllt, in welchem ein Glas gh in Form einer Senkwage schwimmt, dessen Stiel 12 Zoll lang und 1 Linie dick ist; im natürlichen Zustande muß es bald bis an den Boden des Gefäßes herabsinken. Das Gefäß selbst ist mit einer messingenen Scheibe ab bedeckt, durch deren Mitte f der Stiel hindurch gehet. Damit nun dieser Stiel nicht seitwärts wanke, wird unten bei gh Quecksilber eingegossen und außerdem sind noch Silberfäden über das Loch der Platte ab kreuzweis ausgespannt, zwischen welchen er auf und nieder gehen kann. Am Ende des Stiels oben befindet sich ein messingenes Scheibchen c von $14\frac{2}{3}$ Linien im Durchmesser. Wird nun dieß alles isolirt und mit einem elektrisirten Leiter verbunden, so stößt die Scheibe ab das nahe an ihr liegende Metallplättchen c ab, und dadurch erhebt sich die schwimmende gläserne Vorrichtung. Läßt sich nun diese Höhe, worauf es erhoben wird, messen, so kann man aus dem Gewichte desselben und dem Verhältnisse des Stiels zum ganzen Körper die Kraft des Abstoßens berechnen.

Marechaux's so genanntes Mikroelektrometer ist ähnlich dem Bennetschen Elektrometer nach Parrot's Verbesserung. In einem ungefähr 1,5 Zoll weiten und 5 bis 6 Zoll hohen Glascylinder hängt ein Silberblättchen an einer kleinen Zange herab, die sich höher oder niedriger bringen läßt, je nachdem die Länge des Silberblättchens es erfordert. Auch läßt sich die Vorkehrung, welche die Zange trägt, horizontal bewegen, und das Silberblättchen sich dadurch in beliebige Entfernung von einer Kugel bringen. Durch den gläsernen Cylinder ist ungefähr 1'' über der Glasscheibe, auf der er befestigt ist, ein kleines rundes Loch gebohrt, durch welches das Ende einer Mikrometerschraube geht, die von der Dicke eines starken Federkiels und sehr sorgfältig geschnitten ist. Sie führt ein sehr feines Gewinde, 50 Gänge auf einen rheinländischen Zoll; die Schraubenmutter, um alles Wanken zu verhüten, ist wenigstens $\frac{3}{4}$'' lang. Das Ende dieser Schraube trägt eine kleine Kugel, die erst darauf geschraubt wird, wenn dieses Ende durch die Oeffnung im Glase durchgesteckt ist. Die Schraube selbst trägt eine Scheibe 3,5 Zoll im Durchmesser, die in 360 Theile getheilt ist, folglich jede Umdrehung noch in 360 Theile theilt, wodurch man also im Stande ist, die elektrischen Wirkungskreise in Achtzehntau-

Digitized by Google

senteln eines rheinländ. Zolles zu bestimmen. An dem Gestelle, woran die Mutter der Mikrometerschraube befestigt ist, befindet sich eine kleine Säule, die über die Endscheibe der Schraube hervorragt, und eine Schneide trägt, die den Grad genau bezeichnet.

Wenn man dieses Instrument, welches durch die Glasscheibe, auf der es ruht, vollkommen isolirt ist, gebrauchen will, so stellt man zuerst die Scheibe so, daß Null-Grad unter den Zeiger zu stehen kommt, dann nähert man mittelst der Stellschraube, welche die Zange führt, das Silberblättchen der Kugel mehr und mehr, bis zwischen dem Silberblatte und der Kugel kein Lichtstrahl mehr hindurchkommt. Dieses ist der Berührungspunkt und der Null-Grad für den Wirkungskreis beider Elektricitäten. Um sich zu versichern, daß man das Silberblättchen so viel wie möglich genähert hat, ohne es aus der senkrechten Lage zu bringen, dreht man jetzt und zu verschiedenen Malen die Mikrometerschraube um einen Gang zurück und sieht, wie sich das Blättchen verhält, wenn man die Kugel demselben wieder nähert. Ist das Instrument auf diese Art sorgfältig gestellt, so dreht man nun die Mikrometerschraube um einen vollen Gang zurück; man hat dann zwischen dem Silberblättchen und der Kugel eine Entfernung gleich $\frac{1}{50}$ eines rheinländ. Zolles und diesen Abstand kann man wieder mittelst der Scheibe nach Belieben eintheilen, indem auf der Scheibe von $3\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, vermöge der scharfen Schneide, unter welcher sie sich dreht, noch halbe ja sogar noch Viertel-Grade wahrgenommen werden können. An der Scheibe, auf welcher der Cylinder ruht, ist eine Vorrichtung angebracht, welche dazu dient, den Beobachter zu überzeugen, ob der perpendiculäre Stand der Silberblättchen durch eine anziehende Kraft wirklich afficirt worden sei. Es wird nämlich mittelst derselben ein feiner Seidenfaden in der Ebene gespannt gehalten, in welcher das Silberblättchen hängt. Dieser Seidenfaden kann durch Schrauben in horizontaler und perpendiculärer Richtung bewegt werden und dadurch dem Silberblättchen überall folgen. Man sieht sogleich, ob das Silberblättchen mit dem Faden noch in derselben Ebene hängt oder ob eine kleine Abweichung stattfindet. Marechaux bemerkt, daß sein Elektromikrometer so empfindlich sei, daß wenn man eine dünne Glasröhre ein paar Mal reibt, und sie vor dem Kopfe des Instrumentes in der Entfernung mehrerer Zoll schweben läßt, man schon eine Elektricität erhält, zu deren Ausmessung das Instrument keinen Raum mehr hat. Vorzüglich dient das Instrument, die elektrische Spannung einzelner Plattenpaare sowohl als Volta'scher Säulen zu messen. Nachdem erst das Silberblättchen mit der Kugel der Mikrometerschraube in Berührung gebracht und sodann die eine Metallplatte oder der eine Pol einer Säule mit der Zange, an der das Silberblättchen hängt, die andere Platte aber oder der andre Pol mit der Mikrometerschraube in Verbindung gesetzt worden, untersucht man, in welcher Entfernung der Kugel vom Silberblättchen, indem man die Mikrometerschraube mittelst einer gläsernen Handhabe langsam rückwärts schraubt, noch Anziehung stattfindet. So fand Marechaux bei einem einzigen Plattenpaare noch eine Anziehung bei einer Entfernung der Kugel vom Silberblättchen um 60 bis

80° der Mikrometerschraube oder von $\frac{1}{100}$ eines rheinländ. Zolles. Maréchaux wollte aus seinen Beobachtungen am Elektromikrometer gefunden haben, daß die elektrische Intensität der Pole einer Volta'schen Säule (namentlich der trockenen) wechsele, d. h. unter denselben Umständen bald stärker bald schwächer sei. Hierdurch wurde Ermann veranlaßt, eine genaue Untersuchung des Elektromikrometers vorzunehmen, aus der hervorgeht, daß jene Wechselungen ihren Grund in mehren mangelhaften Einrichtungen des Instrumentes haben. Zunächst kann der Grad der Entfernung, aus welcher das Anschlagen noch stattfindet, nur dann als Maß der absoluten Intensität der Säule angesehen werden, wenn die Isolation, welche die äußre Fläche des gläsernen Gefäßes, in dem der Streifen hängt, darbietet, absolut vollkommen ist. Dieß ist aber niemals der Fall, vielmehr ist diese Isolation einer fortwährenden Veränderlichkeit unterworfen. Ferner wird, wenn das negative Metallblatt in einer solchen Entfernung von dem positiven Knopfe hängt, daß es bei dem gegebenen Zustande der Säule, deren Elektricität geprüft werden soll, und des Instrumentes nicht bis zur Berührung angezogen werden kann, eine jede zufällige von außerwesentlichen Ursachen hervorgebrachte Oscillation des Blattes dieses Anschlagen bewirken. Durch die freie ringförmige Oeffnung an der Seite des Glasgehäuses rund um die Welle hat die äußere Luft freien Zutritt zu dem im Innern des Instrumentes befindlichen sehr leicht beweglichen Metallstreifen. Durch die geringste Erregung der Luft werden auf diese Weise Störungen der Erscheinungen am Elektrometer verursacht. Besonders endlich werden Täuschungen bei Beobachtungen mittelst des Elektromikrometers durch die unmerkliche Verrückung des Null-Punktes hervorgebracht, dessen Unwandelbarkeit bei allen Vergleichungen der Beobachtungen vorausgesetzt ist. Der Null-Punkt ist derjenige, wo der frei herabhängende nicht geladene Metallstreifen den Scheitelpunkt der Krümmung des Knopfes eben berührt. Im Verlauf einer Stunde verändert sich derselbe oft um 20 bis 40 Grade der angegebnen Eintheilung. Durch wie viele unvermeidbare Zufälligkeiten eine solche Verrückung stattfinden könne, leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß jeder solcher Grad um $\frac{1}{2000}$ eines rheinländ. Zolles Verrückung anzeigt.

Pfaff bemerkt, daß er sich schon vor Maréchaux einer ähnlichen ganz einfachen Einrichtung bedient hat, um mit Hilfe des Condensators die Stärke der Spannung zu messen, welche die verschiedenen Erreger des Galvanismus, vorzüglich die Metalle und Erze, in ihrer Berührung mit einander geben, indem er in einer Glocke von einem Metallstifte, der mit der messingenen Fassung des Halses, auf welchen die Condensatorplatte aufgeschraubt werden konnte, in Verbindung war, ein Goldblättchen herabhängen ließ, welchem eine messingene Stange mit einer vergoldeten Kugel an ihrem Ende, die durch eine seitliche Oeffnung der Glocke hindurchgesteckt ist, gegenübersteht. Diese Stange bewegt sich mit Reibung durch die mit Lederscheiben ausgefütterte Seitenöffnung der Glocke und ist in Viertellinien abgetheilt. Die verschiedenen Entfernungen der Kugel vom Goldblättchen, bei welchem dieses eben anfängt von seiner verticalen Richtung etwas abzuweichen, aber schon einen merklichen Winkel damit macht, endlich an die Kugel anschlägt, zeigen eben

Digitized by Google

so verschiedene elektrische Intensitäten an. Pfaff sagt, es könnten in dieser Hinsicht auch die kleinsten Verschiedenheiten mit viel größrer Sicherheit und Genauigkeit bestimmt werden als nach der Größe des Abstoßungswinkels, sei es nun zweier Goldblättchen oder eines einzelnen Goldblättchens in Beziehung auf einen unbeweglichen Metallstab.

Behrens brachte zuerst in Vorschlag, der Volta'schen Säule sich zu bedienen, um mittelst eines Goldblättchens die schwächsten Grade von Elektricität zu entdecken und zugleich ohne weiteres die Art der untersuchten Elektricität (ob positiv oder negativ) zu bestimmen. Nach Erfindung von Zamboni's trockener Säule verfertigte v. Bohnenberger hiernach das nach ihm genannte Elektrometer.

Das Elektrometer ist in einem $3\frac{1}{2}$ paris. Zoll hohen und $2\frac{1}{2}$ paris. Zoll weiten cylindrischen Glase enthalten, welches mit einem messingenen Deckel versehen ist. Zwei trockne elektrische Säulen, die jede aus 400 Scheibchen zusammengeleimten Gold- und Silberpapiers von 3 Linien Durchmesser besteht, und sich in einer gefirnißten Glassäule befindet, sind die eine mit ihrem positiven die andere mit ihrem negativen Pole an dem Deckel angeschraubt, so daß sie, wenn der Deckel aufgesetzt ist, vertical herunterhängen; und auf dem Deckel ist die Verschiedenheit der beiden anliegenden Pole durch + und — angezeigt. Unter jeder Säule befindet sich eine etwas vorstehende abgerundete messingene Fassung, welche noch $\frac{1}{4}$ Zoll von dem Boden und einige Linien von dem Rande des Glases absteht, und mit der das untere Ende der Säule in leitender Gemeinschaft steht. Die Axen der beiden Säulen sind 1'' 7''' von einander entfernt und können einander noch näher gebracht werden. Der elektrometrische Körper ist ein $2\frac{1}{2}$ Zoll langes und 3 Linien breites Goldblättchen, welches genau in der Mitte zwischen beiden Säulen und mit ihren Axen parallel an dem unteren Ende eines Drahtes hängt, der sich in einer innen und außen gefirnißten Glasröhre befindet, welche durch den Mittelpunkt des Deckels geht. Der Draht geht durch einen Korkstöpsel, der die Röhre von oben verschließt, und berührt sie besserer Isolirung halber nirgends. Er endigt sich oben mit einer Kugel, auf welche sich eine Condensatorplatte aufschrauben läßt.

Wenn man dieß Elektrometer brauchen will, so verbindet man den metallenen Deckel durch einen Draht mit der Erde und berührt den Knopf des Drahtes mit einem guten Leiter (welches die trockene Hand nicht ist), um sicher zu sein, daß er keine freie Elektricität behalte. Da die metallenen Fassungen, zwischen welchen das Goldblättchen genau in der Mitte hängt, in gleichem Grade, die eine positiv, die andere negativ elektrisch sind, so ziehen sie das Goldblättchen mit gleicher Kraft an, bis diesem durch den Draht, an welchem es hängt, Elektricität zugeführt wird. Sogleich nähert es sich der Fassung, welche in dem entgegengesetzt elektrischen Zustande ist, indem es von ihr angezogen, von der anderen abgestoßen wird, kommt mit ihr in Berührung, wird dann von ihr abgestoßen, schlägt an die andere Fassung an und geht so lange zwischen beiden hin und her, bis es sich an einer der beiden Säulen anhängt, von der es durch ableitende Berührung des Drahtes und

Digitized by Google

eine kleine Erschütterung leicht wieder los zu machen ist. Die Art der zu untersuchenden Elektricität zeigt das Zeichen derjenigen Säule auf dem Deckel, deren unterem Ende das Goldblättchen sich zuerst nähert, oder deren unteres Ende bei stärkerer Elektricität zuerst berührt wird. Stark elektrische Körper müssen dem Elektrometer aus großer Entfernung genähert, schwach elektrische dagegen näher zuweilen bis zu unmittelbarer Berührung mit dem Knopfe gebracht werden. Um sehr schwache Elektricitäten zur Wahrnehmung zu bringen, bedient man sich des Condensators, welcher auf dem Elektrometer aufgeschraubt wird.

Baumgartner berichtet von einem sehr empfindlichen Goldblattelektrometer im Wiener phys. Museum von Kohn. Dasselbe ist sammt dem Postamente nur 3 Zoll hoch und hat 1 Zoll im Durchmesser. Seine Empfindlichkeit ist so groß, daß es von einer Siegellackstange, die man über einem schiefliegenden Tuchlappen nur $\frac{1}{2}$ Zoll weit hat herabgleiten lassen, schon in der Entfernung von 1 — $1\frac{1}{2}$ Fuß afficirt wird. Es hat oben, wo man sonst den Condensator anbringt, ein kleines kupfernes Schälchen, das mit dem Goldblättchen in leitender Verbindung steht. Will man das Instrument für sehr kleine Grade der Elektricität, die von Ferne hin darauf einwirken, empfindlich machen, so gießt man in dieses Schälchen einen Tropfen Weingeist und zündet denselben an. Die von den Flammen aufsteigende heiße Luft dient nun als Zuleiter der Elektricität und leistet ungemein gute Dienste.

Ein so hoher Grad der Empfindlichkeit solcher Elektroskope hängt von der Feinheit und der geringen Ausdehnung des Goldblättchens, besonders aber von dem Materiale ab, aus welchem man die trockenen Säulen baut. Baumgartner theilt folgende Bemerkungen von Kohn in Bezug auf diese mit: Trockene Säulen von Papier, das auf einer Seite vergoldet, auf der anderen versilbert ist, sind zu Bohnenbergerschen Elektroskopen nicht empfindlich genug; bessere Dienste leisten Säulen aus Papierscheiben, die auf einer Seite versilbert (eigentlich verzinnt), auf der anderen mit Manganoxyd eingerieben sind. Dieses Oxyd wird sehr fein gepulvert und dann mit etwas Honig oder Hausenblase aufgetragen. Solche Scheiben mit einem Durchmesser von 1 Zoll geben, wenn 2000 derselben auf einander gepreßt werden, eine Säule, welche im Stande ist, ein zwischen zweien derselben aufgestelltes gut äquilibrirtes Pendel in fortwährender oscillirender Bewegung zu erhalten. 500 Scheiben dieser Art von 6 Linien Durchmesser sind zur Erzeugung eines sehr empfindlichen Elektroskopes geeignet. Noch kräftigere Säulen liefern Scheiben aus sehr feinem, ungeleimten Postpapiere, die auf einer Seite mit feinem Silber belegt, auf der anderen mit Manganoxyd bestrichen sind. Blätter dieser Art liefern schon bei einem Durchmesser von 2 Linien, wenn ihrer 300 auf einander geschichtet werden, ein sehr empfindliches Elektroskop. Die besten Dienste leisteten aber bisher solche Scheiben aus ungeleimtem, gut geglätteten englischen Goldpapiere, das auf einer Seite mit Silber, auf der andren mit fein zertheiltem Zinke überlegt ist. Als Bindemittel für diese Metalle wird Gummiwasser gebraucht. 100 solche Blättchen von 1 Linie Durchmesser sind schon hinreichend, um ein sehr empfindliches Elektroskop zu liefern.

Digitized by Google

Eine große Unannehmlichkeit des Bohnenbergerschen Elektrometers besteht darin, daß häufig das Goldblättchen an die eine Fassung und die Glasröhre selbst, die sich von dem unteren Pole aus allmälig mit Elektricität ladet, anhängt und dann gewöhnlich nicht ohne zu zerreißen abgelöst werden kann. Nach Pfaff kann man diesem Uebelstande dadurch abhelfen, daß man die kleinen trocknen Säulen auf den messingenen Boden des Glasgehäuses befestigt und von ihren nach oben stehenden Polen Metalldrähte, die in runde Plättchen sich enden, gehen läßt, zwischen denen das Goldblättchen mit seinem unteren Ende sich befindet. Becquerel bedient sich, um die erwähnte Unbequemlichkeit zu vermeiden und zugleich die Empfindlichkeit des Instrumentes noch zu vermehren, statt zweier Zamboniſcher Säulen nur einer, welche in horizontaler Richtung auf einem hölzernen Untersatze befestigt ist. An jedem Pole derselben ist in verticaler Richtung eine länglichte Metallplatte von ungefähr 3 Zoll Länge befestigt und das Goldblättchen zwischen diesen beiden Platten aufgehängt. Das Goldblättchen bietet ihnen so alle seine Punkte dar, und die Einwirkung muß daher auf dasselbe bedeutender sein, als wenn es nur mit seinem unteren Ende der Wirkung der Pole zweier Säulen ausgesetzt ist. Dieses Instrument hat eine so große Empfindlichkeit, daß bei trockenem Wetter eine mit Tuch geriebene Glasröhre schon aus einer Entfernung von 8 bis 10 Fuß darauf wirkt; bei dem Bohnenbergerschen Instrumente dagegen erst in einer Entfernung von 3 Fuß.

Die feinsten elektrometrischen Versuche sind von Coulomb mittelst einer besonderen Zurichtung seiner Drehwage angestellt worden. Ehe ich aber dieses Instrument und die damit angestellten Versuche näher beschreibe, will ich noch die Beschreibung der wichtigsten Ladungselektrometer geben.

Das Lane'sche Ausladungselektrometer, welches dazu dient, die Stärke des elektrischen Schlages einer Leidner Flasche zu messen, sowie Entladungen von einer bestimmten Stärke hervorzubringen, ist unterm Art. Auslader Bd. I. S. 132. beschrieben und seine Anwendung in der Medicin unter dem Art. Elektricität Bd. II. S. 121. nachzulesen.

Namentlich um die Stärke der Ladungen von Batterien zu bestimmen, bedient man sich des von Brook erfundenen nach Adams aber benannten Ladungselektrometers, dessen Beschreibung Pfaff, wie folgt, mittheilt.

Nach der von Brook angegebenen Einrichtung ist dasselbe bestimmt, die Stärke der abstoßenden Kraft an einer Leidner Flasche oder Batterie, aber auch an einem elektrisirten Conductor, so wohl in Graden als in Graden, die auf einem Zifferblatte verzeichnet sind, anzugeben. Die Arme (Fig. 105.) g1 und g2 nebst den Kugeln C und E sind alle hohl, und von dünnem Messingbleche verfertigt, damit sie so leicht als möglich ausfallen. Sie sind beide beweglich, während der etwas gekrümmte Arm g3 mit der Kugel F und der Arm g4 mit der Kugel G unbeweglich sind. Der Arm g2 mit seiner Kugel E stellt eigentlich eine Schnellwage vor, an welcher ein breiter Ring a verschiebbar ist. In-

Digitized by Google

nerhalb der hohlen Kugel D ist die Axe dieser Schnellwage und der kürzere Arm, woran sich ein Bleigewicht befindet, das mit dem langen Arme und der Kugel daran nebst dem Schieber, wenn er eine bestimmte Lage am Arme hat, genau im Gleichgewicht ist, so daß der Arm g 2 in horizontaler Lage sich befindet, und die Kugel E ohne Gewicht und und Druck auf der Kugel G ruht. Der Stand des Schiebers in dieser Lage wird mit 0 bezeichnet. Dann bringt man, nachdem man die Kugel G mit ihrem Arme vorher abgeschraubt hat, unter die Kugel E eine Wagschale, schiebt den Schieber a bis ans Ende vor und untersucht, wie viele Grane in der anderen Wagschale nöthig sind, um die Kugel E eben in die Höhe zu heben. Indem man ferner einen Gran nach dem andern herausnimmt, und jedesmal durch einen Versuch bestimmt, wo der Schieber stehen müsse, um grade wieder das Gleichgewicht hervorzubringen, oder die Kugel E eben zu erheben, und an dem Rande des Schiebers jedesmal einen Strich auf dem Stiele macht, erhält man eine Eintheilung in Granen, welche den Druck oder das Gewicht des Schiebers in seinen verschiedenen Lagen von 0 bis zur Kugel, wo z. B. 60 Grane zur Wiederherstellung des Gleichgewichts nöthig gewesen waren, anzeigt. Theilt man nun dem Instrumente Elektr. mit, so wird die Kugel E mit ihrem Arme g 2 abgestoßen werden, und die Größe der abstoßenden Kraft in Granen angegeben sein, durch den Stand des Schiebers, bei welchem die Kugel eben noch gehoben wird, so daß, wenn z. B. der Schieber bei 30 steht, die abstoßende Kraft, die zwischen den beiden Kugeln E und G und den Armen g 2 und g 4 thätig ist, grade 30 Grane beträgt. Der andere bewegliche Arm g 1 und seine Kugel C wird zugleich von dem festen Arme g 3 und seiner Kugel F abgestoßen, wenn der Arm g 2 durch Verbindung mit einem elektrisirten Körper in die Höhe sich hebt. Dieser Arm g 1 ist in den unteren Theil der Axe eines Rades eingeschraubt, das in ein Getriebe eingreift, an welchem sich der Zeiger des Zifferblattes befindet. An dem obern Theile der nämlichen Axe wird ein Bleigewicht befestigt, welches dem Arme g 1 und seiner Kugel das Gegengewicht hält, und wenn die abstoßende Kraft der Elektr. zu wirken aufhört, den Arm jedesmal in seine vorige Lage zurückbringt. Das Verhältniß der Zähne des Rades und der Einschnitte des Getriebes ist so getroffen, daß der Zeiger sich einmal durch die Bewegung des Armes g 1 völlig um seine Axe herumdreht, wenn sich die Kugel C durch einen Bogen von 90 Graden bewegt. In so viele Grade ist auch das Zifferblatt eingetheilt. Mit dieser Eintheilung, die auf dem äußeren Kreise angebracht ist, und auf welche der längere Arm des Zeigers hinweist, kann man auch eine Eintheilung correspondirend machen, welche die abstoßende Kraft in Granen mißt. Für jeden Winkel der Divergenz des beweglichen Armes g 1 und seiner Kugel C ist ein gewisser Stand des Schiebers nöthig, um die Schnellwage grade in horizontaler Richtung zu halten, so daß die Kugel von G weder absteht noch auf dieselbe drückt. Die Menge von Granen, welche der Schieber in seiner jedesmaligen Lage unter der angegebenen Bedingung anzeigt, ist das Maß für die abstoßende Kraft. Die Zahl, welche diese Menge anzeigt, trägt man auf den innern Kreis da auf,

Digitized by Google

wo dann der kürzere Arm des Zeigers, der sich auf gleiche Weise mit dem längeren umdreht, jedesmal steht. Hat man auf diese Weise die Eintheilung des Kreises nach Graden regulirt, so kann man die Schnellwage mit dem Arme g 4, der an die Vorrichtung angeschraubt ist, auch ganz wegnehmen, und sich bloß des anderen Haupttheiles, der im Wesentlichen nichts andres, als ein Quadrantenelektrometer ist, bedienen. Auf diese Weise sind auch die nach Adams benannten Elektrometer, wie sie bei Batterieversuchen gebraucht werden, eingerichtet, und in diesem Falle muß die Kugel F an ihrem unteren Theile mit einem kurzen messingenen Stiele versehen sein, um das Elektrometer bequem auf die Kugel einer Flasche aufstecken zu können. Statt dessen kann das Elektrometer auch zum Aufstecken auf den Knopf einer Flasche seitwärts mit einem Ansatze an das Uhrgehäuse bei A versehen sein, der mit einem in einem Charniere beweglichen Stiele verbunden ist. Bei diesem Aufstecken ist es jedoch nothwendig, daß das ganze Instrument hinlänglich hoch über der Flasche stehe, damit die abstoßende Kraft auf g 1 und ihre Kugel C von keiner andren Seite aus wirke, als von g 3 und ihrer Kugel F. Man sieht leicht ein, sagt Pfaff, daß solche Elektrometer nur dann vergleichbar und in ihrer Sprache übereinstimmend sind, wenn die Dimensionen und Gewichte aller ihrer Theile vollkommen mit einander übereinstimmen, was allerdings in der Ausführung mit großen Schwierigkeiten verbunden sein dürfte. Indeß sind sie für den einzelnen Experimentator bei Batterieversuchen sehr brauchbar, da sie für eine gegebene Größe von belegter Glasfläche die verschiedenen festen Punkte von Spannung anzeigen, bei welchen durch die Entladung derselben bestimmte Wirkungen hervorgebracht werden können.

Deimann und Paets van Troostwyk haben sich bloß der Schnellwage bedient, um die abstoßende und anziehende Kraft des ersten Leiters einer Elektrisirmaschine zu messen und folgende Beschreibung ihres Apparates geben. (Fig. 106.)

Die Schnellwage egd, welche hier ein Ganzes für sich ausmacht, ruht nämlich noch auf dem Theile chf, der ebenfalls aus zwei hohlen Kugeln und einem hohlen Cylinder von Messing, von eben der Größe als bei der Wage besteht, (die Kugeln hatten 4 Zoll, der hohle Cylinder eine Länge von 10 Zoll und einem Durchmesser von 0,75 Zoll). Die eine von diesen Kugeln, nämlich c ist oben und unten mit einem Messingdrahte versehen, in welchen Schraubengänge geschnitten sind; in den obersten ist die Kugel C der Wage geschraubt, der untere dient dazu, um das Elektrometer auf dem Conductor oder auf einem hölzernen Gestelle zu befestigen. Uebrigens ist egd so mit chf verbunden, daß beide Cylinder g und h sich in einer Verticalebene befinden, und die Kugel d, wenn sie durch Verschiebung des Ringes schwerer geworden ist, auf der Kugel b aufliegt. Um das Elektrometer auf den Conductor zu setzen, bedienten sie sich eines messingenen Plättchens, das so gebogen ist, daß es an den Conductor anschließt; auf dieses ist die Kugel c des Elektrometers geschraubt. In dieser Lage dient dasselbe zur Bestimmung der abstoßenden Kraft. Wenn die Anziehung untersucht werden soll, so wird das Elektrometer auf seinen hölzernen Fuß gesetzt,

Digitized by Google

und man stellt es mit der Kugel d in einer gewissen Entfernung gerade unter eine Kugel von eben der Größe, die, damit man die anziehende und abstoßende Kraft mit Kugeln von gleicher Größe untersuchen kann, absichtlich unten an die Kugel am Ende des Leiters gesteckt wird. In beiden Fällen untersucht man erst, wie weit der Ring oder das Gewicht i von c nach d verschoben werden kann, ohne daß die Kugel d zu schwer wird, um von der Kraft, die der Conductor bei dem Umdrehen der Elektrisirmaschine erhält, noch aufgehoben zu werden; die Zahl, bei welcher der vordere Rand des Ringes steht, zeigt dann in Granen die abstoßende oder anziehende Kraft des Conductors an.

Die genauesten elektrometrischen Versuche sind angestellt worden, um die Gesetze zu entdecken, nach denen sich die elektrische Anziehung und Abstoßung richtet. Coulomb hat sich hierbei seiner Drehwage bedient, welche im Allgemeinen unterm Art. Drehwage Bd. I. S. 619. beschrieben ist. Um dieselbe zur Messung der elektrischen Anziehung und Abstoßung anzuwenden, wird die Nadel aus Gummilack verfertigt. Solche Nadeln erhält man leicht, wenn man das Gummilack an der Flamme einer Kerze erweicht und nach Art des Glases in Fäden von der erforderlichen Länge und Dicke auszieht. An das eine Ende der Nadel wird ein Holundermarkkügelchen b (Fig. 107.) befestigt. Die Nadel wird in ihrer Mitte an einem dünnen Metallfaden aufgehängt, welcher sich mittelst des oben bei M angebrachten drehbaren Knopfes sammt der Nadel in verticaler Richtung drehen läßt. Der Knopf ist mit einem Zeiger versehen, der auf einer auf dem Deckel angebrachten Gradeintheilung angibt, um wie viele Grade die Drehung geschehen ist. Eine andere Gradeintheilung ist am unteren Theile des Instrumentes so angebracht, daß die Nadel an ihr die Winkel angibt, um welche sie bei einer auf sie wirkenden Abstoßung oder Anziehung um ihren Aufhängungspunkt (welcher der Mittelpunkt des in Grade getheilten Kreises ist) gedreht wird. Diese Eintheilung wird auf einem Papierstreifen verzeichnet, den man horizontal rings um den Glasbehälter klebt. Wenn der untere Theil des Instrumentes ein Glascylinder ist, so muß jeder Grad der Eintheilung $\frac{1}{360}$ des Kreisumfanges dieses Cylinders sein. Wird aber das Instrument in größeren Dimensionen verfertigt, so findet man nicht leicht einen hinlänglich weiten regelmäßigen Glascylinder. Man setzt dann den unteren Theil des Instrumentes aus 4 Spiegelplatten von gleicher Größe zusammen, so daß jeder horizontale Durchschnitt des unteren Gehäuses ein Quadrat ist. Denkt man sich nun einen solchen Durchschnitt in der Höhe der Nadel gelegt oder bezeichnet denselben durch einen Papierstreifen, auf den die erforliche Eintheilung gemacht werden soll, so ist zu bemerken, daß jede Seite des hier entstandenen Quadrates eine Tangente ist an einen Kreis, den man sich im Innern des Gefäßes um den Drehungspunkt der Nadel als Mittelpunkt mit dem kürzesten Abstande dieses Punktes von jeder Seite des Quadrates als Radius beschrieben denken kann. Dieser Kreis ist der in das (bekannte) Quadrat beschriebene Kreis. Zeichnet man sich einen solchen Kreis auf ein besonderes Blatt und beschreibt um ihn das Quadrat, theilt hierauf den Kreis in seine 360 Grade, zieht nach jedem

Digitized by Google

Theilpunkte einen Radius und verlängert denselben bis er die nächste Seite des Quadrates schneidet, so wird hierdurch der Umfang des Quadrates so eingetheilt, daß seine Theilpunkte den Theilpunkten des Kreises entsprechen. Diese Eintheilung wird auf den in der Höhe der Nadel um das prismatische Glasgehäuse gelegten Papierstreifen aufgetragen, und setzt man nun in den Punkt, welcher in jeder Seite des Quadrates dem Drehungspunkte der Nadel am nächsten liegt, (oder, was dasselbe, wo die Richtung der Nadel auf jede Fläche senkrecht ist) den Null-Punkt der Eintheilung, von welchem ab die Theile gezählt werden, so geben die Theilpunkte in ihrem Abstande von dem Nullpunkte die Tangenten der Winkel an, welche so viele Grade haben als die zu den Theilpunkten geschriebenen Zahlen angeben. Nachdem man hierauf den Zeiger, welcher sich über der oberen Kreiseintheilung bewegt, auf den Null-Punkt dieser Eintheilung gestellt hat, wird der ganze Cylinder, welcher ihn trägt, gedreht, bis die kleine Kugel b auch vor dem Null-Punkte der unteren Eintheilung steht. Die Erfüllung dieser Bedingung erkennt man daran, daß wenn man von der entgegengesetzten Seite des Glasbehälters in der Verticalebene hin sieht, in welcher der Draht und die Nadel liegen, man letztere gegen den Nullpunkt gerichtet erblickt. Eine zweite Kugel a wird an das Ende eines ganz dünnen Cylinders von Gummilack befestigt, welcher so lang ist, daß wenn er vertical in das untere Glasgehäuse gebracht wird, seine Kugel mit der Kugel der Nadel in gleicher Höhe steht. Dieser Cylinder erhält eine solche Stellung, daß die Kugel a ebenfalls bei dem Nullpunkte der unteren Eintheilung zu stehen kommt. Die zweite Kugel drängt bei dieser ihrer Einstellung die erste Kugel b ein wenig aus ihrer Stellung vor dem Nullpunkte, so daß, wenn der Mittelpunkt von a genau auf den Nullpunkt fällt, der Mittelpunkt von b von dem Nullpunkte um die Summe der Radien beider kleinen Kugel entfernt ist. Durch die geringe Drehung, welche bei der Verdrängung der Kugel b durch die Kugel a erfolgt, wird b in Berührung mit a erhalten.

Wenn man nun diese Kugeln oder nur eine derselben mit einem elektrischen und isolirten Körper einen Augenblick in Berührung bringt, so werden beide durch Mittheilung gleichartig elektrisch, stoßen sich folglich ab. Da nun bloß die Kugel b beweglich ist, so wird sich die Nadel, an der sie befestigt ist, um einen gewissen Winkel drehen und nach einigen Oscillationen bei einem gewissen Punkte des Gleichgewichts stehen bleiben, den die Eintheilung an der Seitenwand genauer bezeichnen läßt. Dann wird der Grad der im Draht vorhandenen Drehungskraft (d. h. der Grad der Kraft, mit welcher sich der Draht vermöge seiner Elasticität zurückzudrehen strebt) der Abstoßung der beiden Kugeln das Gleichgewicht halten, folglich zum Maße derselben dienen können.

Da schon durch sehr geringe Kraft ein Metalldraht um einen großen Winkel gedreht wird, so darf man den Kugeln nur sehr schwache Grade von Elektricität ertheilen. Man berührt sie deßhalb nur mit einem dicken Stecknadelkopfe, dessen Stiel in einer Siegellackstange steckt. Dieser Nadelkopf wird vorher durch Mittheilung elektrisch gemacht, indem man ihn einen Augenblick mit dem ersten Leiter einer Elektrisirma-

Digitized by Google

schine oder mit einer geriebenen Glas- oder Harzstange in Berührung bringt. In den Glaskasten wird er durch eine kleine zu diesem Zwecke an gehöriger Stelle angebrachte kleine Oeffnung eingebracht, indem man ihn an der isolirenden Siegellackstange hält und nach Erfolg der Berührung der unbeweglichen Kugel sogleich wieder zurückzieht.

In dieser Art stellte Coulomb seine Versuche an und er fand bei einem seiner Versuche, daß die Nadel nach geschehener Berührung einen Winkel von 36° beschrieben hatte. Darauf drehte er den Draht nach der dieser Abstoßung entgegengesetzten Richtung, so daß die Nadel der unbeweglichen Kugel bis auf 18° genähert war, zu welchem Ende der Zeiger der obern Eintheilung um 126° gedreht werden mußte. Endlich näherte er die Nadel durch Drehung des Drahtes bis auf einen Abstand von 8°, 5, wobei der obere Zeiger vom Nullpunkte der Eintheilung an im Ganzen 567° beschrieben hatte. Während Coulomb diese Versuche anstellte, verloren die Kugeln nicht merklich an Elektricität; denn vorher hatte sich derselbe überzeugt, daß an diesem Tage (vermöge der Trockenheit der Luft und der guten Isolirung durch die Träger) die elektrisirten Kugeln, wenn sie sich um 30° abgestoßen hatten, in 3 Minuten nur um Einen Grad sich näherten. Da Coulomb zu Anstellung der drei angegebenen Versuche nur zwei Minuten brauchte, so sieht man, daß die Verminderung, welche die Elektricität der Kugeln durch die (niemals absolut isolirende) Luft und die Träger erleiden konnte, als unbedeutend außer Acht gelassen werden konnte.

Wenn abda (Fig. 108.) den Umkreis vorstellt, den die bewegliche Kugel b beschreibt, und c den Mittelpunkt desselben, ferner ab ein Bogen von 36° ist, wie er sich nach der ersten Abstoßung fand, so folgt daraus, daß der Abstoßungskraft der beiden Kugeln durch eine Drehung um 36° nach der Richtung ab das Gleichgewicht gehalten wurde; denn zufolge der zu Anfang des Versuchs getroffenen Anordnungen ist die Drehung null, wenn die Nadel sich beim Punkt a befindet. — Beim zweiten Versuche dreht man den Draht um 126° nach der Richtung ba, wäre die Nadel frei, so würde sie dadurch nach d' 126° über den Punkt a hinausgeführt werden; statt dessen aber hält die abstoßende Kraft b' 18° diesseits dieses Punktes zurück. Bei diesem Abstand hielt mithin die abstoßende Kraft der beiden Kugeln einer Drehung um 126° + 18° = 144° das Gleichgewicht. — Bei dem dritten Versuch endlich betrug die vom Zeiger angezeigte Drehung 567° immer nach der Richtung ba; allein anstatt um 567° über den Punkt a hinauszugehen, blieb die Nadel bei 8°,5 diesseits dieses Punktes stehen; mithin hielt die Abstoßungskraft, durch die sie in dieser Entfernung festgehalten wurde, einer Drehung um 567° + 8°, 5 = 575°, 5 das Gleichgewicht. — Hieraus ergibt sich folgende Tabelle zur Vergleichung der Drehungen und der Abstände.

Digitized by Google

Bogen, um welche beide Kugeln entfernt waren.	Maß der Abstoßungskraft durch die Drehung.
36°	36°
18°	144°
8°,5	575°,5

Vergleicht man die Zahlen, welche in beiden Columnen unter einander stehen, so bemerkt man, daß die Bogen des Abstandes fast genau zu einander wie 4 : 2 : 1 sich verhalten, während die entsprechenden Drehungen, welche das Maß für die Wirkungen der abstoßenden Kräfte auf die Nadel abgeben, unter einander in dem Verhältnisse 1 : 4 : 16 stehen d. h. den Quadraten der ersten umgekehrt proportional sind. Hieraus ergibt sich das Gesetz: daß die elektrischen Kräfte gleich der Anziehungskraft der Himmelskörper nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen sich richten. Biot, nach dessen Vorgange ich diese Darstellung der Coulomb'schen Beobachtungen gegeben habe, bemerkt noch hierzu: Eigentlich zwar wird der geradlinige Abstand beider Kugeln nicht durch den Bogen, den die eine beschreibt, sondern durch die Sehnen dieses Bogens gemessen; und die abstoßende Kraft, die sie auf einander äußern, wirkt überdieß schief auf die Nadel und trägt daher nicht mit ihrer ganzen Stärke zu ihrer Drehung bei. Indeß beträgt diese Schiefe bei unseren Versuchen wegen der geringen Größe der Bogen nur ganz wenig; und aus der nämlichen Ursache ist auch der Unterschied zwischen ihnen und ihren Sehnen nur ganz gering. Diese Umstände rechtfertigen sonach die Folgerungen, die wir aus unseren Beobachtungen gezogen haben. Vollends außer Zweifel lassen sie sich indeß setzen, wenn man eine strenge Berechnung zu Hilfe nimmt. Denn aus dieser ergibt sich, daß, wenn die Abstoßungsbogen nicht größer als 36° sind, die aus den Bogen, so wie die aus den Abständen hergeleiteten Verhältnisse von denen, die die Beobachtung finden läßt, sich um keine merkliche Größe unterscheiden. Ueberschreiten wir also diese Grenze nicht, so können wir das Gesetz des Quadrats der Abstände auf die Bogen selbst beziehen, welches die Berechnungen um vieles vereinfacht.

Das Instrument, dessen sich Coulomb bei seinen Versuchen bediente, bestand aus einem feinen Wagebalken, der an einem sehr dünnen Silberfaden von 28 Zoll Länge hing und so zart war, daß ein Fuß davon nur $\frac{1}{176}$ Gran wog. Der Halbmesser des Kreises, welchen der Hebelarm beschrieb, beträgt 4 Zoll und hiernach war nur eine auf das Ende des Wagebalkens perpendiculair wirkende Kraft von $\frac{1}{340}$ Gran nöthig, um denselben durch einen ganzen Kreis herum zu drehen. Die Drehung von Einem Grade erforderte nur ein Gewicht

Digitized by Google

von $\frac{1}{340 \times 360} = \frac{1}{122400}$ Gran. Dieser Draht zerriß jedoch durch die geringste Erschütterung, weßhalb Coulomb öfter eines Drahtes von doppelt so großem Durchmesser und sechzehnmal so großer Elasticität sich bediente. Indeß ersann Coulomb noch empfindlichere Apparate, Mikroelektrometer, um auch die geringsten Mengen Elektricität wahrnehmbar zu machen. Fig. 109. zeigt ein solches Instrument, welches im Ganzen mit der Drehwage übereinstimmt, in dem aber der Metalldraht durch einen einfachen Coconfaden ersetzt ist, die Nadel besteht aus einem kleinen 12 Linien langen Faden von Gummilack, der sich an einem Ende in ein kleines ganz dünnes rundes Scheibchen von Silberlahn endet. Bei einem der Coulombschen Apparate wog die Nadel mit dem Scheibchen zusammen $\frac{1}{2}$ Gran. Der Seidenfaden hat bei der angegebenen Länge eine solche Biegsamkeit, daß wenn man auf ihn mittelst eines Hebels von Einem Zolle wirkt, schon das Gewicht von $\frac{1}{720720}$ Gran hinreicht, um ihn durch einen ganzen Kreisumfang zu drehen. Um dem Scheibchen die Elektricität mitzutheilen, läßt man durch eine Siegellackstange einen Kupferdraht hindurchgehen, der sich auf einer Seite in eine kleine vergoldete Holunderkugel, auf der anderen in eine Metallkugel oder in einen Haken, dessen Spitze in das Siegellack zurückgeht, endigt. Die so ausgerüstete Siegellackstange bringt man in das Innere des Glaskastens, den Haken nach außen gekehrt, und befestigt sie so, daß die Mitte der vergoldeten Kugel, durch den Aufhängungsfaden gesehen, dem Nullpunkt der Eintheilung an den Wänden des Glaskastens entspricht. Wenn sich die Nadel in Ruhe befindet, dreht man behutsam den Zeiger der obern Eintheilung, bis das Scheibchen sich an die vergoldete Kugel anlegt, worauf der Apparat in Wirkung treten kann. Theilt man dem Kupferhaken durch irgend ein Mittel Elektricität mit, so pflanzt sie sich in die Kugel und das Scheibchen fort, welches sogleich abgestoßen wird. Die Empfindlichkeit dieser Elektroskope ist so groß, daß, wenn man eine durch Reibung elektrisirte Siegellackstange dem auswendigen Haken auch nur von fern, in einer Weite von 3 Fuß, darbietet, die Nadel um mehr als 90° abgelenkt wird.

Auch über die Gesetze der elektrischen Anziehung hat Coulomb ähnliche Versuche angestellt, wie über die der Abstoßung. Die Kugeln dürfen sich dann in ihrer ursprünglichen Lage, ehe sie elektrisch geworden sind, nicht mehr berühren, sie müssen vielmehr von einander entfernt sein und in der Drehungskraft ein Hinderniß finden, sich zu vereinigen. Deßwegen nimmt man erst die befestigte Kugel a (Fig. 110.) weg und ertheilt der beweglichen eine Elektr. von bestimmter z. B. negativer Beschaffenheit, darauf dreht man den Zeiger um einen bestimmten Winkel c; der Faden, durch keine Kraft gehindert, folgt dieser Bewegung, so daß nach einigen Oscillationen das Ende der Nadel vor einem anderen Punkte b der Eintheilung stehen bleibt, der um 10 Grade von dem entfernt ist, bei dem es zuerst stand. Durch dieß Verfahren wird sonach der Nullpunkt der Drehung um eine be-

Digitized by Google

kannte Größe nach der Richtung a b vertrückt worden sein. Jetzt bringt man die befestigte Kugel a wieder an ihren Ort und ertheilt ihr die der vorigen entgegengesetzte Elektricität; in gegenwärtigem Beispiele also positive. Da beide Kugeln sich anziehen, so bewegt sich die Nadel nach der festgemachten Kugel a hin und bleibt im Fall das Gleichgewicht möglich ist, irgendwo bei einem gewissen Punkte b' stehen. Man bemerkt diesen Punkt an der Eintheilung, dreht darauf den Zeiger um bekannte Größen vor- oder rückwärts, um die Drehung zu verändern, und beobachtet wiederum die Lage, in welcher die Nadel in jedem dieser Fälle stehen bleibt. Aus einer ähnlichen Vergleichung der Drehungen und der Abstände, wie bei Aufsuchung des Gesetzes für die Abstoßungen, erhält man ein jenem entsprechendes Gesetz: daß die Anziehungskräfte, welche durch ungleichartige Elektricitäten hervorgebracht werden, eben wie die Abstoßungskräfte dem Quadrate des Abstands umgekehrt proportional sind.

Biot bemerkt noch zu diesen Versuchen, daß man eine Vorsichtsmaßregel bei denselben zu beobachten habe, ohne welche sie gar nicht glücken würden. Wenn die Anziehungskraft beide Kugeln zur Annäherung an einander bestimmt, so nimmt ihre Intensität in dem Maße, als der Abstand beider geringer wird, zu; und wäre blos diese Ursache vorhanden, so würden die Kugeln zuletzt sich bis zur Berührung nähern. Allein die Drehung widersetzt sich ihrer Annäherung, ein Widerstand, der in dem Maße wächst, als die Nadel sich von ihrem Ruhepunkte b entfernt, um nach der anderen Kugel hinzugehen. Nun wächst über eine gewisse Entfernung hinaus dieser Widerstand nicht mehr schnell genug, um den Anwachs der Anziehungskraft zu besiegen; es kann hier sonach kein Gleichgewicht eintreten, sondern wenn die Kugeln bis zu dieser Grenze gelangt sind, so eilen sie auf einander zu und treffen zuletzt immer zusammen. Durch eine ganz einfache Rechnung läßt sich dieß erweisen und die Grenze des Abstandes bestimmen, über die man nicht hinausgehen darf. Es ereignet sich sogar, daß die Kugeln sich bis zur Berührung in Fällen nähern, wo das Gleichgewicht nach der Rechnung statthaben kann. Dieß rührt daher, daß die Art der Aufhängung der Nadel gestattet, einige Zeit um die Lage des Gleichgewichts, in der sie zuletzt zur Ruhe kommen soll, zu oscilliren. Wenn die Weite dieser Oscillationen groß genug ist, um die bewegliche Kugel der befestigten so nahe zu bringen, daß die Anziehung in einem rascheren Verhältniß als die Drehung wächst, so reicht diese nicht mehr hin, die Nadel zurückzuführen, und die bewegliche Kugel wird bis zur Berührung fortgezogen.

Coulomb hat auch noch andere Versuche angestellt, um die von ihm aufgefundenen Gesetze der elektrischen Abstoßung und Anziehung zu bestätigen. Ich kann jedoch weder diese noch die von anderen Physikern angestellten Versuche, welche theils jene Gesetze bestätigen, theils ihnen widersprechen, hier anführen, weil sie ohne höhere mathematische Kenntnisse nicht wohl begreiflich gemacht werden können. Vielfache Anwendungen der Elektrometer und Elektroskope sind zu Erkenntniß des Wesens und der Beschaffenheit der Elektricität im Allgemeinen und in be-

Digitized by Google

stimmten Fällen angestellt worden, deren in den betreffenden Artikeln Erwähnung geschieht.

Elektrophor (v. d. griech. φέρω tragen) Elektricitätsträger, beständiger Elektricitätsträger ist ein zuerst von Volta im J. 1775 construirtes Instrument zu Erregung der Elektricität, welche es unter günstigen Umständen Monate und Jahre lang bewahrt. Der letzte Umstand ist der Grund, aus dem es Volta einen beständigen Elektricitätsträger genannt hat.

Der Elektrophor besteht wesentlich aus drei Theilen, nämlich: aus dem Kuchen, der gewöhnlich eine Harzmasse ist; der Form oder dem Teller, welcher den Kuchen an den Seiten und unten umgibt; und dem Deckel, Schild oder der Trommel, welche auf die Harzfläche gelegt wird. Kuchen und Teller sind gewöhnlich untrennbar mit einander verbunden und machen zusammen die Basis oder Unterscheibe des Elektrophors aus, im Gegensatz zu welcher der abhebbare Deckel die Oberscheibe heißt.

Die Form (der Teller) besteht aus einer hölzernen mit Zinnfolie und Silberpapier überzogenen oder metallenen runden Scheibe, welche ringsum einen senkrecht aufstehenden, nach Maßgabe der Dicke des Kuchens 2 bis 5 Linien hohen Rand hat. In diese Form wird der Kuchen gegossen. Zur Masse des Kuchens kann im Allgemeinen jeder idioelektrische Stoff dienen; doch nimmt man gewöhnlich eine Harzmasse dazu, welche aber nicht zu spröde sein darf, denn in diesem Falle würde der Kuchen bald rissig werden. Bloßes Pech und reines burgundisches Harz sind daher nicht wohl zu brauchen. Volta goß Elektrophore von reinem Gummilack so wie anderen harzigen Materien und von Schwefel; empfiehlt jedoch als vorzügliche Masse des Kuchens eine Mischung von 3 Theilen Terpentin, 2 Theilen Harz und 1 Theile Wachs. Diese Substanzen ließ er einige Stunden hindurch zusammen kochen und setzte dann noch etwas Mennig dazu, um die Farbe der Mischung zu erhöhen. Nach Pickel soll man 5 Theile Gummilack (in Tafeln) 3 Theile reinen Mastix und 2 Theile venetianischen Terpentin in Leinewand zusammengebunden in einem neuen irdenen glasirten Geschirre bei gelindem Kohlenfeuer zerlassen, durch die Leinwand drücken und entweder noch flüssig in die Form bringen oder auch nach dem Erkalten in Gestalt eines Pulvers aufstreuen und wieder zerlassen. Jaquet empfiehlt eine Mischung von gleichen Theilen Kolophonium und weißem Pech mit etwas Terpentin, um das Springen zu verhüten und etwas Zinnober zur Färbung. Lichtenberg nahm zu seinem später näher zu beschreibenden großen Elektrophore eine Mischung von gemeinem Harze, Terpentin und burgundischem Pech. Nach Robert soll eine Mischung aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen Jungfernwachs, 2 Theilen venetianischen Terpentin und ½ Theil Pech sehr viele Elektricität geben und dieselbe lange an sich halten. Pfaff fand eine Mischung aus 8 Theilen Kolophonium, 1 Theile Schellack und 1 Theile venetianischen Terpentin vorzüglich brauchbar.

Die verschiedenen Harze werden in einem neuen irdenen Topf oder

Digitized by Google

Tiegel zusammengeschmolzen und wohl durch einander gerührt. Nach der Quantität der Masse muß man diese längere Zeit über dem Feuer stehen lassen, um wo möglich alle Luft und Feuchtigkeit aus ihr zu vertreiben, dabei aber das Feuer wohl in Acht nehmen, damit nicht die harzige Masse sich entzünde; denn hierdurch verliert sie sehr an Fähigkeit durch Reiben elektrisch zu werden. Die fließende Masse wird in die Form gegossen und zwar in so großer Menge, daß sie mit dem Rande derselben in gleichem Niveau steht und eine vollkommen gleichmäßige Ebene bildet. Die Blasen, welche sich beim Gießen des Elektrophors in der Harzmasse bilden, müssen dadurch vertrieben werden, daß man dicht über sie hin, aber ohne die Masse zu berühren, mit einem glühenden Eisen oder heißen Stahle fährt. Durch ein ähnliches Ueberfahren mit einem heißen Eisen können auch später im Kuchen entstandene Risse zugeschmolzen werden. Der Harzkuchen erhält so eine spiegelglatte Oberfläche, doch hat die Erfahrung gezeigt, daß er noch wirksamer wird, wenn man diese glatte Oberfläche mit feinem Bimssteinpulver abreibt. Der Harzkuchen erhält nach Maßgabe seines horizontalen Durchmessers eine verschiedene Dicke; bei kleinen Elektrophoren ist eine Dicke von $1\frac{1}{2}$ Linien schon hinreichend, Elektrophore von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Durchmesser müssen aber einen 4 bis 5 Linien dicken Harzkuchen haben, indem sonst der elektrische Deckel beim Aufheben durch den Kuchen hindurch diesen zerstörend nach der Form sich entladen kann.

Der Deckel (das Schild) ist eine metallene Scheibe oder eine mit Stanniol oder Silberpapier überzogene Scheibe von Holz, deren Ränder wohl abgerundet sind und deren Durchmesser je nach der Größe des Elektrophors 1, 2 bis 6 und mehr Zoll kleiner als der des Kuchens ist. Man kann auch zu Herstellung der Oberscheibe einen Reif von steifgeleimter Pappe oben und unten mit Leder, Papier oder Leinewand überspannen und äußerlich rundum mit Zinnfolie überziehen. Bildet der Deckel einen Cylinder von merklicher Höhe, so nennt man ihn eine Trommel. Der Deckel muß mit einer Vorrichtung versehen sein, mittelst welcher er isolirt abgehoben werden kann. Entweder man kittet in die Mitte desselben eine überfirnißte Handhabe von Glas oder man befestigt an Oesen oder in seitwärts angebrachte Löcher 3 oder mehre seidene Schnüre, welche oberwärts zusammengeknüpft sind. Die Handhabe muß jedenfalls so hoch sein, daß die sie oben fassende Hand außer dem elektrischen Wirkungskreise des Deckels sich befindet.

Bei der Operation mit dem Elektrophore müssen Teller und Deckel, sobald dieser auf dem Kuchen liegt in leitende Verbindung gesetzt werden. Um diese herzustellen, bedient man sich gewöhnlich der Hand, kann aber auch (welches besonders bei Anwendungen des Elektrophors z. B. zur elektrischen Lampe nöthig) diese Verbindung ein für allemal dadurch einleiten, daß man von der Oberfläche der Form aus einen schmalen Stanniolstreifen so weit auf den Kuchen mit etwas Hausenblase aufklebt, daß der auf den Kuchen gesetzte Deckel mit dem Stanniolstreifen in Berührung tritt.

Die in der angegebenen Weise gegossenen Elektrophore haben den Nachtheil, daß, indem sie ringsum an dem aufwärts stehenden Rande

Digitized by Google

der Form feſt anhängen, ſie ſich dem Wechſel der Temperatur gemäß nicht frei aus- und zuſammenziehen können, daher in der Kälte leicht Riſſe bekommen, in der Wärme aber ſich erheben und eine convexe Oberfläche annehmen. Auch wird beim Gießen die Oberfläche ſelten vollkommen eben, daher Pfaff gepreßte Elektrophore, welche dieſe Mängel nicht haben, vorſchlägt, indem er nachſtehendes Verfahren angibt.

Auf einer vollkommen ebenen gut polirten Marmorplatte wird ein Stück Zinnfolie, etwas größer als der Kuchen des Elektrophor werden ſoll, ausgebreitet, und auf dieſelbe ein Ring von dem Diameter und der Höhe des Harzkuchens aufgeſetzt, entweder von Blei oder Holz, um welchen gleichfalls Stanniol übergeſchlagen wird, ſo daß die Harzmaſſe nicht in Berührung mit dem Holze oder Bleie kommen kann. In dieſe Form wird die von Pfaff empfohlene Maſſe gegoſſen, und nachdem ſie ſoweit erkaltet iſt, daß die obere Fläche noch etwas weich iſt, wird eine Stanniolplatte und auf dieſe eine zweite ebenfalls vollkommen ebene Marmorplatte, oder auch eine Scheibe von recht ebenem Spiegelglaſe aufgelegt, und mit Gewichten bis zu 10 Pfund beſchwert, die man etwa 24 Stunden darauf liegen läßt. Durch dieſes Preſſen bekommt die Harzplatte eine vollkommen ebene Oberfläche, vorausgeſetzt, daß die aufgelegte Marmorplatte oder Glasſcheibe hinlänglich eben war, worauf man ſich bei einer guten Spiegelſcheibe verlaſſen kann. Der erhaltene Harzkuchen adhärirt nicht an dem Stanniol des Ringes oder kann wenigſtens davon leicht losgetrennt werden. Er wird dann auf derſelben Stanniolplatte, auf welche er gegoſſen war, auf eine hölzerne Unterlage gelegt, und um ihn daſelbſt feſtzuhalten, kann man eine hölzerne Umgebung über den Kuchen oberhalb etwas greifen laſſen, die man durch hölzerne Schrauben an die Unterlage befeſtigt. Zum Deckel dieſer gepreßten Elektrophore mit ganz freiem nirgends angeſchmolzenem Kuchen bedient ſich Pfaff runder Scheiben von Spiegelglas, welche an ihrer Unterfläche auf das ſorgfältigſte mit Stanniol oder Silberſchaum überzogen, an ihrem Rande umher durch einen wohl abgerundeten zinnenen Ring, der frei darauf liegt, und den Rand einſchließt, gegen alles Ausſtrömen von Elektricität geſichert, und in ihrer Mitte mit einer wohl überfirnißten Glasſtange als Handhabe verſehen ſind, und welche unten eine wohl überfirnißte hölzerne Faſſung haben, die in eine auf das Glas gekittete hölzerne Schraube eingeſchraubt wird.

Die zwei größten bis jetzt ausgeführten Elektrophore ſind in Göttingen und Wien verfertigt worden. Bei jenem hatte der Kuchen einen horizontalen Durchmeſſer von 7 Fuß und $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke und beſtand aus 56 Pfund Harzmaſſe. Der Deckel hatte 6 pariſ. Fuß im Durchmeſſer, war 2 Linien dick und maſſiv von Zinn, mit umgerolltem Rande, um das Ausſtrömen der Elektricität zu verhindern. Da er 76 Pfund wog, ſo mußte er durch einen Flaſchenzug auf und nieder gelaſſen werden. Er war an 13 vier Fuß langen Schnüren aufgehängt, die in Ringe, welche in den Deckel gegoſſen waren, befeſtigt und oben in einen großen Ring vereinigt waren. Am äußeren mit Zinnfolie belegten Rande der Tafel, in welche der Harzkuchen gegoſſen war, befand ſich ein Ha-

Digitized by Google

ken mit einer Kette, an deren Ende eine 14zöllige Kugel hing. Der Haken stand mit einem 4 Zoll langen, 1 Zoll breiten, in die untere Tafel eingelassenen Messingstreifen in Verbindung. Diese Vorrichtung mit der Kette und der Kugel diente, um diejenige Verbindung mit dem Deckel herzustellen, die man sonst mit der Hand macht, weil der dabei entstehende Schlag der Hand zu empfindlich war. — Der Wiener Elektrophor hat eine Basis von 8 Fuß im Durchmesser, der Harzkuchen hat 7 Fuß 9½ Zoll im Durchmesser und eine Dicke von 2 Zoll und besteht aus 5¼ Centner Harzmasse. Der Deckel ist im Durchmesser 10 Zoll kleiner als die Harzscheibe und besteht aus einem Reife des stärksten Pappendeckels, der erst mit Leinewand, dann mit Zinnfolie gut überzogen ist. Er wird an 4 starken seidenen Schnüren mittelst eines doppelten Flaschenzuges auf und nieder gezogen. Um die Form mit der Trommel, wenn sie auf dem Harzkuchen steht, in leitende Verbindung zu setzen, ist ein Stanniolstreifen nach der oben angegebenen Art angebracht. — Eines sehr großen Elektrophors hat sich auch Lichtenberg bei seinen sehr sorgfältigen Versuchen bedient. Derselbe war indeß kleiner als die beiden eben beschriebenen, indem die Basis einen Durchmesser von 6 paris. Fuß, der Deckel von 5 paris. Fuß hatte.

Schon vor Erfindung des eigentlichen sogenannten Elektrophors durch Volta hat Wilke 1762 einer entladenen Ladungs-Glasscheibe, deren Belege abgenommen werden können, sich bedient, um alle Erscheinungen des Voltaschen Elektrophores zu beobachten. Wilke machte nämlich die Bemerkung, daß diese Belege, nachdem man den elektr. Stoß durch Anlegung der Hände an dieselben heraus genommen, 1. zwar nicht die geringste Elektricität mehr zeigen, so lange sie am Glase liegen, sobald man sie aber beide, oder jede für sich vom Glase abführt, eine überaus starke Funken gebende Elektricität zeigen, die in ihnen von entgegengesetzter Natur ist, und zwar in der während der Ladung positiv gewesenen Belegung sich als negative, in der negativen Belegung dagegen als positive verhält; 2. daß diese Elektricitäten wieder gänzlich verschwinden, wenn man die beiden Belege, ohne sie zu berühren, wieder zum Glase führt; 3. daß wenn man diese Elektricitäten von den Belegen, so lange sie vom Glase entfernt sind, durch Berührung ableitet und wieder gegen das Glas führt, diese Belege abermals freie Elektricität, aber in einem viel schwächeren Grade, und zwar nunmehr die entgegengesetzte von derjenigen zeigen, die sie vorher getrennt darboten; 4. daß, wenn sie nun, ohne berührt zu werden, abgehoben sind, sie gar keine Elektricität zeigen; 5, daß aber die Belege sich wie im ersten Versuche verhielten, wenn sie mit beiden Händen zugleich an das Glas gedrückt und darauf abgehoben werden; 6. daß endlich auf diese Art das Glas viele Tage und Wochen nach einander die Belege merklich elektrisiren könne, so oft auch der Versuch wiederholt werde, und daß dieses Vermögen bei heiterem und trockenem Wetter sich oft von selbst im Glase wieder einfinde.

Sobald man den Elektrophor in Wirksamkeit setzen will, muß zunächst der Kuchen durch Reibung elektrisch gemacht werden. Dieß geschieht bei Harzkuchen, indem man dieselben mit einem trockenen warmen

Digitized by Google

Hasenfelle oder Katzenfelle oder einem Fuchsschwanze oder Flanell schlägt. Nach Pfaff ist das beste, mit einem doppelt zusammengelegten warmen und trockenen Stücke Flanell, das man mit beiden Händen hält, auf den Kuchen zu schlagen und bei jedem Schlage den Flanell über den ganzen Kuchen hinweg gegen sich zu ziehen oder den Kuchen auf eben diese Art doch stets nach derselben Richtung zu peitschen. Durch fortwährende Wiederholung dieser Reibung wird der Kuchen mehr und mehr elektrisch; bis er endlich ein gewisses Maximum (einen gewissen höchsten Grad) der Elektricität erlangt hat. Wenn man nachher den Deckel auf den elektrischen Harzkuchen legt, so bewahrt dieser an einem trocknen Platze aufgestellt die Elektricität sehr lange, wodurch der Name beständiger Elektricitätsträger seine Rechtfertigung erhält. Ein Elektrophor, bei welchem statt des Harzkuchens eine Glasscheibe angebracht ist, wird durch Reibung mit einem mit Amalgam eingeriebenen Leder elektrisch gemacht.

Die Erscheinungen am Elektrophor lassen sich sämmtlich aus denjenigen Erscheinungen erklären, welche man unter Vertheilung der Elektricität zusammenfaßt und von denen im Art. Elektricität S. 102. ff. die Rede ist. Wenn man auf einen elektrisch gemachten Harzkuchen eine glatte Metallfläche auflegt, so wird (wie im Art. Elektricität S. 89. gesagt ist) der Metallfläche keine Elektricität mitgetheilt, denn wenn man sie, ohne sie berührt zu haben, isolirt abhebt, so zeigt sie so wenig wie vor der Berührung mit der Harzfläche einige Spuren von Elektricität; wohl aber zeigt sich die Metallplatte elektrisch, wenn man sie während ihrer Berührung mit der elektrischen Harzfläche berührt und dann isolirt abhebt, doch entgegengesetzt elektrisch gegen den Harzkuchen. Es findet also in diesem Falle nicht Mittheilung, sondern Vertheilung der Elektricität statt. Wenn man sich die Gesetze der Vertheilung der Elektricität, wie sie am angef. Orte dargelegt sind, genau ins Gedächtniß ruft, so werden die nachstehenden Erscheinungen am Elektrophor, wie sie am genauesten von Lichtenberg und Pfaff beobachtet worden, mit ihren Gründen vollkommen verständlich sein.

Wenn man den Deckel des Elektrophors (welcher hier nicht mit dem S. 244. angegebenen Stanniolstreifen versehen sein darf), indem man ihn an der gläsernen Handhabe oder den seidenen Schnüren hält, auf die Harzfläche so aufsetzt, daß er nach allen Seiten in ziemlich gleicher Entfernung von dem Rande des Tellers absteht und ihn sodann, ohne ihn berührt zu haben, wiederum abhebt, so zeigt er keine Spur von Elektricität, wenn man ihn einem Elektroscope nähert, ein Beweis, daß keine Mittheilung der Elektricität stattgefunden hat. Nur dann wird der Deckel in diesem Falle durch Mittheilung elektrisch geworden sein und beim Aufheben einen schwachen Funken geben, wenn er auf seiner unteren Fläche Unebenheiten hat und der Harzkuchen stark elektrisch ist. (Vergl. den Art. Elektricität S. 89.)

Die Harzfläche ist negativ elektrisch; während daher der Deckel auf ihr ruht, werden die Elektricitäten in ihm (welche sich vorher in indifferentem Zustande gegenseitig banden,) geschieden. Die posit. Elek-

Digitized by Google

tricität des Deckels wird durch die negative Elektricität des Kuchens gebunden; die negat. Elektricität des Deckels ist somit frei und sobald man, während der Deckel auf dem Kuchen ruht, den Deckel mit dem Finger berührt, entzieht man ihm die freie neg. Elektricität: man erhält einen kleinen schneidenden Funken. Hebt man hierauf den Deckel an seiner isolirenden Handhabe vom Kuchen ab, so enthält er freie pos. Elektricität, die nun nicht mehr von der negat. Elektricität des Kuchens gebunden wird, und kann dieselbe durch den Finger dem Deckel entziehen: man erhält einen nach der Größe des Instrumentes sich richtenden elektrischen Funken, ganz wie von dem Conductor einer Elektrisirmaschine. Hierdurch wird der Deckel seiner Elektricität entladen. Man kann nun diesen Versuch, so oft man will, wiederholen. Durch die hierbei stattfindende Ladung des Deckels wird die negative Elektricität des Kuchens nicht im geringsten vermindert, weil, wie man sieht, keine Mittheilung der Elektricität stattfindet. Etwas Aehnliches, wie zwischen dem Kuchen und dem Deckel, geht auch zwischen dem Kuchen und der Form vor. Steht das Instrument unmittelbar auf einem Tische, ist also die Form nicht isolirt, so wird in ihr durch die negat. Elektricität des Kuchens ebenfalls die posit. Elektricität von der negat. geschieden; die posit. Elektricität wird ebenfalls von der negat. Elektricität des Kuchens gebunden, eine dieser entsprechende Quantität negat. Elektricität wird also frei und durch die Erde abgeleitet. Ist dagegen die Form isolirt, (welches geschieht, wenn man sie auf Glasfüße stellt) so kann man mittelst eines mit ihr in Verbindung gesetzten Elektroskopes die freie negat. Elektricität wahrnehmen. Wenn man statt den Deckel allein zu berühren, während dieser auf dem Harzkuchen steht, Form und Deckel zugleich berührt, indem man den einen Finger erst an die Form ansetzt und dann mit der Spitze des Fingers den Deckel berührt, oder den Daumen an die Form und dann den Zeigefinger auf den Deckel legt, so erhält man einen erschütternden Schlag gleich dem aus einer geladenen kleinen elektrischen Flasche. So wie nämlich der Deckel auf den Kuchen gesetzt wird, bindet, wie schon gesagt, die negat. Elektricität des Kuchens eine entsprechende Menge posit. Elektricität des Deckels, dadurch wird bewirkt, daß nun die negat. Elektricität des Kuchens eine geringere Quantität der posit. Elektricität der (nicht isolirten) Form als vorher bindet. Da durch den Tisch aber eine der vorher in der Form gebundenen Quantität posit. Elektricität gleiche Quantität negat. Elektricität abgeleitet worden, so wird nothwendig durch das Aufsetzen des Deckels eine gewisse Quantität posit. Elektricität (die, welche jetzt weniger als vorhin gebunden wird) frei, und werden Form und Deckel durch den Finger in leitende Verbindung gesetzt, so verbindet sich die freie posit. Elektricität der Form mit der freien negat. Elektricität des Deckels in dem besagten elektrischen Schlage; der Deckel ist, wenn man ihn isolirt abhebt, positiv elektrisch und gibt einen Funken. Läßt man nach der gleichzeitigen Berührung des Deckels und der Form den Deckel auf dem Kuchen stehen, so zeigt weder der Deckel noch die Form Spuren von Elektricität, weil die freien Elektricitäten beider durch die gleichzeitige Vereinigung sich aufgehoben haben.

Digitized by Google

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, daß, sobald der Deckel isolirt auf den Kuchen gesetzt wird, posit. Elektricität der Form frei wird, und diese erreicht ihren höchsten Grad dann, wenn der Deckel berührt wird; berührt man sodann nicht zugleich die Form, so strömt die freie posit. Elektricität der Form aus, woher es kommt, daß man unter diesen Umständen in der Nähe der Form befindliche Körper, die mit einem sehr dünnen Ueberzuge eines guten Leiters versehen sind, z. B. die vergoldeten Leisten einer Commode, im Dunkeln leuchten sieht.

Macht man den Deckel durch gleichzeitiges Berühren mit der Form elektrisch, so gibt er nachher einen stärkeren Funken, als wenn man ihn nur einseitig berührt hat. Bei der einseitigen Berührung bleibt nämlich stets ein Theil der negat. Elektricität des Kuchens mit Bindung posit. Elektricität der Form beschäftigt, kann also nicht zersetzend auf die Elektricitäten des Deckels wirken, darum ist in diesem Falle eine geringere Quantität freier posit. Elektricität im Deckel als wenn eine gleichzeitige Berührung des Deckels und der Form vorausgegangen ist, bei welcher alle negat. Elektricität des Kuchens zersetzend auf die Elektricitäten des Deckels wirkt.

Es ist schon gesagt worden, daß und warum die Form, wenn sie isolirt steht, freie negat. Elektricität zeigt. Wird bei isolirter Form der Deckel auf den Kuchen gesetzt, so wird die freie negat. Elektricität der Form geringer, weil ein Theil der negat. Elektricität jetzt mit Zersetzung der Elektricitäten des Deckels beschäftigt ist, also einen entsprechenden Theil vorher gebundener posit. Elektricität der Form frei gibt, welche sich alsbald mit einem entsprechenden Theile der freien negat. Elektricität der Form, (welche wegen der Isolirung nicht abgeleitet worden), bindet. Berührt man nun mit dem Finger einseitig den Deckel, so entzieht man diesem seine freie negat. Elektricität und erhält einen Funken, welcher aber kleiner ist als derjenige, den man bei nicht isolirter Form erhält. Der Deckel zeigt fortan gar keine freie Elektricität; beobachtet man aber die Korkkügelchen des Elektrometers, welches mit der Form in Verbindung steht, so bemerkt man, wie diese langsam bis zur Berührung zusammengehen und dann wieder, aber jetzt mit entgegengesetzter posit. Elektricität von einander sich entfernen. Der isolirt aufgehobene vorher berührte Deckel zeigt freie posit. Elektricität; zugleich bemerkt man beim Aufheben des Deckels, daß die Korkkügelchen des Elektrometers, das mit der Form in Verbindung steht, einander sich nähern, aber nach der Berührung nun wieder mit negat. Elektricität aus einander gehen. So wie nämlich der Deckel gehoben wird, bindet die von der posit. Elektricität des Deckels wieder getrennte negat. Elektricität des Kuchens einen ihr entsprechenden Theil posit. Elektricität der Form, wodurch die negat. Elektricität dieser frei wird. Es verhält sich also alles grade so, wie ehe der Deckel das erstemal aufgesetzt wurde.

Ist die Form isolirt, steht der Deckel auf dem Kuchen und hat man den Deckel einseitig berührt (wobei man den erwähnten kleinen Funken erhielt), läßt man dann den einen Finger mit dem Deckel in Verbindung und berührt mit dem andren die Form, welche nach dem Vorhergehenden jetzt freie posit. Elektricität hat, so erhält man einen

Digitized by Google

elektrischen Schlag, weil sich die freie posit. Elektricität der Form mit einer gleichgroßen negat. Elektricität des Deckels verbindet; zugleich muß diese negat. Elektricität des Deckels eine ihr gleichgroße posit. Elektricität frei machen, welche zu derjenigen hinzukommt, die schon durch die negat. Elektricität des Kuchens gebunden ist. Nach dem isolirten Aufheben des Deckels gibt dieser den stärksten Funken, welcher aus ihm erhalten werden kann; die Form zeigt die stärkste negat. Elektricität. Berührt man gleich nach dem Auflegen des Deckels (während die Form immer isolirt ist) Deckel und Form zugleich, so entzieht man beiden gleichzeitig ihre freie negat. Elektricität.

Wenn man den Deckel nach der Berührung aufhebt, so hat er, wie gesagt, eine bestimmte Quantität freier posit. Elektricität, welche ihrer Menge nach der negat. Elektricität des Kuchens entspricht, und die Form hat eine gleichgroße Quantität freier negat. Elektricität, weil dieselbe nur dadurch frei ist, daß nach Aufhebung des Deckels die neg. Elektricität des Kuchens eine ihr selbst gleich große Quantität posit. Elektricität der Form gebunden hat; setzt man daher den Deckel, ohne ihm durch Berührung seine freie posit. Elektricität geraubt zu haben, auf den Kuchen zurück, so wird sogleich die ganze Quantität freier pos. Elektricität des Deckels die negat. Elektricität des Kuchens in Anspruch nehmen, diese entläßt die bis diesen Augenblick von ihr gebundene posit. Elektricität der Form und diese letzte bindet alle bis diesen Augenblick freie negat. Elektricität der Form, so daß also weder Deckel noch Form freie Elektricität zeigen.

Pfaff bemerkt zu diesen Erscheinungen des Elektrophors, daß dieselben, namentlich diejenigen, bei denen die Form als isolirt vorausgesetzt wurde, vorzüglich lehrreich an demjenigen Elektrophore sich darstellen lassen, welcher aus einer Ladungsscheibe besteht, deren Belege von derselben abgezogen werden können. Am besten dient dazu eine in einen Rahmen gefaßte Scheibe, die mit seidenen Schnüren senkrecht in einem Gestelle aufgehängt ist, das aus zwei Paar senkrechten Glassäulen besteht, welche oben durch einen quer gehenden Glasstab vereinigt sind. Zu den Belegen dienen zwei dünne, recht ebene, Messingscheiben, mit etwas dickerem wohl abgerundeten Rande, die in senkrechter Stellung an Glassäulen, die in einem soliden Fuße von überfirnißtem Holze eingelassen werden, befestigt sind. So kann man beide Belege oder nach Willkühr auch nur eines von der Glasscheibe und zwar in vollkommen isolirtem Zustande abziehen, während beim gewöhnlichen Elektrophore die Form stets mit dem Kuchen verbunden bleibt. Hat man die Scheibe geladen und dann entladen, indem man zwischen beiden Belegen eine leitende Verbindung gemacht hat, so findet grade derselbe Zustand statt, den der gewöhnliche Elektrophor zeigt, wenn man den Deckel auf den durch das Reiben elektrisirten Kuchen aufgesetzt und diesen und die Form mit den Fingern berührt hat. Zieht man die beiden Scheiben dann isolirt ab, so zeigen sie entgegengesetzte Elektricitäten, und zwar jede derselben auch die entgegengesetzte von derjenigen, mit der sie vorher geladen gewesen war. Beraubt man sie durch Berührung ihrer Elektricität, und drückt sie beiderseits wieder an die Glasscheibe im iso-

Digitized by Google

lirten Zuſtande an, ſo zeigen ſie abermals freie Elektricität, aber die entgegengeſetzte von derjenigen, die ſie abgezogen hatten, nur dem Grade nach etwas ſchwächer. Berührt man beide mit dem Finger, wobei man einen ſchwachen erſchütternden Funken erhält, und zieht ſie abermals ab, ſo wiederholt ſich die erſte Erſcheinung. Pfaff hat auf dieſe Weiſe ganze Stunden hindurch lange Funken aus den beiden Scheiben ausziehen können, doch waren hier, wenn die Funken aus den abgezogenen Scheiben genommen wurden, die negativen Funken der einen Scheibe etwas länger, als die poſitiven der anderen, wenn nämlich die Ladung der Scheibe vom poſitiven Conductor ausgegangen war.

Aus dem Vorhergehenden geht von ſelbſt hervor, daß man des Elektrophors als einer Elektriſirmaſchine ſich bedienen könne, indem man aus dem vom Kuchen nach der Berührung abgehobenem Deckel ganz wie aus dem erſten Leiter einer Elektriſirmaſchine Funken ziehen kann, und zwar immer aufs neue nach jedmaligem Wiederaufſetzen, Berühren und Abheben. Man kann auch durch wiederholtes Funkenausziehen mittelſt einer Leidner Flaſche dieſe laden. Die Flaſche wird (mittelſt eines Harzelektrophors) poſitiv geladen, wenn man wie gewöhnlich an ihre äußere Belegung die Hand hält und die Funken in ihren Knopf ſchlagen läßt; negativ hingegen, wenn man ſie auf den Deckel ſtellt, mit demſelben negativ aufzieht und dann ihren Knopf berührt, oder wenn man ſie am Knopfe hält und die Funken aus dem Deckel in die äußere Belegung ſchlagen läßt. Der Elektrophor ſteht der Elektriſirmaſchine zwar in Hinſicht der Stärke des Funkens und der Bequemlichkeit der Einrichtung nach, zeichnet ſich dagegen durch Wohlfeilheit aus und durch die erwähnte Eigenſchaft Monate, ſelbſt Jahre die Elektricität zurückzuhalten, nachdem dieſelbe einmal durch Reibung in ihm erzeugt worden. Dieſes letzteren Umſtandes wegen bedient man ſich ſeiner auch namentlich bei den elektriſchen Lampen. Uebrigens iſt er, wie wir geſehen haben, beſonders geeignet, die Erſcheinungen der durch Vertheilung wirkenden Elektricität hervorzurufen; auch dient er zu Hervorrufung der merkwürdigen Lichtenberg'ſchen Figuren (ſ. d. Art. Figuren, Lichtenberg'ſche).

Die Stärke des elektriſchen Funkens am Elektrophor nimmt mit der Größe des Inſtrumentes, der Ebenheit der ſich berührenden Flächen und der Vollkommenheit der Iſolirung zu. Bei ſehr großen Elektrophoren kann man einen Funken erhalten, welcher dem aus dem erſten Leiter einer Elektriſirmaſchine nicht nachſteht. Der iſolirte Teller der oben beſchriebenen Götting'ſchen Elektriſirmaſchine gab nach dem Reiben mit dem Haſenfelle Funken von 4 bis 6 Zoll Länge; wenn man Form und Deckel mit der Hand verband, ſo erhielt man einen erſchütternden Funken wie von einer ſtarken Leidner Flaſche. Der aufgehobene Deckel lud mit 3 bis 4 Funken eine Leidner Flaſche von 1 Q. F. Belegung ſo ſtark, daß ſie ausſtrömte. Die Funken des aufgehobenen Deckels fuhren oft blitzähnlich in einer Länge von 15 Zoll und der Dicke eines Federkiels auf die Harztafel und zerſchmetterten das Harz.

Die Kraft eines Elektrophors kann nach Volta's Angabe mittelſt einer geladenen Flaſche ſehr erhöht werden. Nachdem man mit dem

Digitized by Google

Deckel des Elektrophors eine Leidner Flasche geladen hat, stellt man dieselbe auf den Kuchen, faßt den Knopf mit der Hand und führt die Flasche mit ihrer äußeren Belegung auf dem Kuchen hin und her. Hierbei entladet sich die Flasche allmälig, indem die äußere Belegung ihre negat. Elektricität an den Kuchen abgibt und zugleich die posit. Elektricität ohne eine Erschütterung zu geben allmälig durch die Hand abgeleitet wird. Auf diese Weise wird der Kuchen stärker negat. elektrisch als durch bloßes Reiben; ist die Flasche entladen, so kann man sie mit dem Deckel aufs neue laden und indem man wie vorher verfährt, die Kraft des Elektrophors noch weiter erhöhen. Ist hierbei die Form nicht isolirt, so darf man ihr mit der Flasche nicht zu nahe kommen, indem sich diese sonst durch einen erschütternden Funken auf einmal entladet. Man kann daher auch den Knopf der auf den Kuchen gestellten Flasche durch einen Auslader mit der Form in leitende Verbindung setzen und dann die Flasche mit einer Glasröhre auf dem Theile des Kuchens hinschieben, auf den nachher der Deckel zu liegen kommt. Wenn man mit dem posit. elektrischen Knopf einer geladenen Flasche auf dem Harzkuchen hin und her fährt, dabei die negat. elektrische Belegung der Flasche in der Hand hält, so wird anfangs die negat. Elektricität des Kuchens aufgehoben, später aber erhält dieser einen Ueberschuß von posit. Elektricität.

Um die posit. und negat. Elektricität bequem neben einander zu haben, hat Lichtenberg dem Elektrophor eine Einrichtung gegeben, die er unter dem Namen doppelter Elektrophor beschrieben hat.

Es wird ein Bret von Lindenholz, etwa 2 Fuß lang, 1 Fuß breit und 1 Zoll dick genommen, und dasselbe entweder mit Stanniol oder Goldpapier u. dergl. überzogen, so daß auch der äußere Rand belegt ist. Um dieses belegte Bret wird ein Rand von dünnem Holzspan mittelst metallener Nägel, welche bis in die Belegung hineingehen, befestigt, welche etwa 2½ Linien über das Bretchen hervorragt. Dieß Bret, welches auf diese Weise die Gestalt einer Schüssel hat, wird mit einer Harzcomposition ausgefüllt. Der Deckel hierzu hat etwa 10 Zoll im Durchmesser. Hierauf wird nun die eine Stelle (Fig. 111.) a mit Katzen- oder Hasenbalge oder auch mit Flanell gerieben, wodurch sie negativ elektrisirt wird, wogegen aber der aufgesetzte und berührte Deckel die positive Elektricität erhält. Auf die andere Seite b wird nun ein messingener Ring gestellt, welcher etwa 1 Zoll im Durchmesser und dieselbe Höhe hat; auf diesen wird der auf der Stelle gewesene und berührte Deckel gebracht, wodurch die Stelle des Harzkuchens, welche der Ring berührt, positive Elektricität erhält. Nach dieser Verrichtung wird der Ring mittelst eines Nichtleiters als einer Stange Siegellack, einer Glassäule, eines Federkiels u. s. f. ein wenig aus seiner vorigen Lage verschoben, so daß derselbe etwa nach acht Verrichtungen über den ganzen Raum b gekommen ist, worauf er ganz abgenommen wird. Dadurch ist nun b positiv geworden, mithin erlangt der auf b gelegte und berührte Deckel die negative Elektricität. Hieraus sieht man also, daß beide Elektricitäten sich nun neben einander befinden und auf bequeme Art benutzt werden können, die Stelle a macht den Deckel

Digitized by Google

positiv, und b denselben negativ. Mit dieser negativen Elektricität kann a noch stärker negativ gemacht werden, wenn man den messingenen Ring auf a stellt und mit dem von b aufgehobenen Deckel einen Funken daraus zieht. Auf diese Weise kann auch b noch stärker positiv gemacht werden. Hieraus sieht man deutlich, daß auf solche wechselseitige Art beide Stellen a und b einen beträchtlichen Grad von Elektricität erlangen können.

Auch J. Weber hat einen Doppelelektrophor beschrieben, der in einem nicht in einer Form gegossenen, sondern auf beiden Flächen freien Harzkuchen besteht. Wenn man auf einer Seite diesen Kuchen durch Reibung negativ oder mittelst einer Leidner Flasche positiv elektrisch macht, so zeigt die entgegengesetzte Seite die der ersten entgegengesetzte Elektricität, so daß man also nur den Kuchen umzudrehen hat, wenn man die Erscheinungen entgegengesetzter Elektricität hervorbringen will. Statt einer Harzplatte kann man sich auch einer Glasplatte bedienen. Der auf jede Fläche dieses Elektrophors aufgesetzte Deckel gibt abgehoben die dem anderen entgegengesetzte Elektricität.

Entfernung. Man unterscheidet die wahre Entfernung oder Abstand und die scheinbare Entfernung. Unter der wahren Entfernung zweier Gegenstände von einander versteht man allemal die kürzeste Linie, welche von dem einen nach dem anderen gezogen werden kann, also daß die Entfernung zweier Punkte von einander die sie verbindende gerade Linie; die Entfernung eines Punktes von einer geraden Linie die senkrechte von diesem Punkte auf diese Linie; die Entfernung eines Punktes von einer Ebene die senkrechte von diesem Punkte nach dieser Ebene ist. Auf einer Kugelfläche wird die Entfernung zweier Punkte gemessen durch die Größe des Bogens zwischen beiden Punkten, welcher zu einem durch beide Punkte gelegten größten Kreise der Kugel gehört. Als Entfernung zweier kugelförmigen Körper von einander wird gewöhnlich die Entfernung ihrer Mittelpunkte angenommen.

Die scheinbare Entfernung zweier Gegenstände von einander, d. h. die Weite, in welcher für unser Auge zwei Körper von einander abzustehen scheinen, wird gemessen durch den Winkel, welchen zwei von den betreffenden Gegenständen nach unserem Auge gezogene gerade Linien mit einander machen. Da diese Linien immer weiter aus einander gehen, je mehr sie sich von dem Auge entfernen, der Winkel, welcher die scheinbare Entfernung mißt, aber nicht auf entsprechende Weise sich ändert, so sieht man leicht, wie die scheinbare Entfernung zweier Gegenstände sehr gering sein kann, während ihre wahre Entfernung vielleicht unermeßlich groß ist.

Epakten (v. d. griech. ἐπακταί hinzugekommene, nämlich Tage) ist ein in der Chronologie (und in den Kalendern) vorkommender Ausdruck, mit welchem diejenigen Zahlen bezeichnet werden, welche angeben, wie viele Tage dem 1sten Januar eines Jahres seit dem Tage des letzten Neumondes im vergangenen Jahre vorausgegangen sind; oder welche das Alter des Mondes am Neujahrstage jedes Jahres angeben. Im

Digitized by Google

Art. Cyclus ist gesagt, daß in den Jahren, deren güldene Zahl 1 ist, der Neumond auf den Neujahrstag selbst fällt, die Epakte des Jahres ist dann 0 und wird mit einem Sternchen * bezeichnet. Die Epakten der folgenden Jahre sind nun leicht zu bestimmen, wenn man bedenkt, daß ein Mondenjahr 354¼ Tage hat, während ein Sonnenjahr 365¼ Tage zählt, das Sonnenjahr also um 11 Tage länger als das Mondenjahr ist. Um ein Mondenjahr zu einem Sonnenjahre zu ergänzen, müssen (falls beide an demselben Tage angefangen haben) also zu seiner Zahl von 354¼ Tagen noch 11 Tage hinzukommen, daher der Name Epakten. Das Jahr, welches auf das mit der güldenen Zahl 1 folgt, d. h. jedes Jahr, dessen güldene Zahl 2 ist, hat hiernach die Epakte XI. Jedes folgende Jahr wachsen die Epakten entsprechender Massen um 11 Tage, und hiernach entspräche der güldenen Zahl 3 die Epakte XXII, der güldenen Zahl 4 die Epakte XXXIII. Hier ist aber zu bedenken, daß in diesen 33 Tagen auf den 30. Tag wieder ein Neumond fällt, folglich 30 von 33 abgerechnet nur III als Epakte bleibt. In dieser Weise ergeben sich für alle 19 Jahre des Metonschen Cyclus, folgende Zusammenstellungen der güldenen Zahlen mit den Epakten:

güldene Zahl:	Epakte:	güldene Zahl:	Epakte:
1	0. oder *	11	XX.
2	XI.	12	I.
3	XXII.	13	XII.
4	III.	14	XXIII.
5	XIV.	15	IV.
6	XXV.	16	XV.
7	VI.	17	XXVI.
8	XVII.	18	VII.
9	XXVIII.	19	XVIII.
10	IX.		

Die Zahlenreihe der Epakten ist so bestimmt worden, daß man von 0 anfangend zu jeder vorhergehenden Epakte 11 hinzu addirt hat; jedesmal aber wo man hierdurch über 30 hinauskommt, 30 weggelassen und nur die Einer geschrieben hat. Diese Weglassung ist geschehen bei den Epakten, welche den güldenen Zahlen 4. 7. 10. 12. 15. 18. entsprechen, folglich überhaupt 6 mal. Das 20. Jahr ist das 1. eines neuen Cyklus, verfährt man bei Bestimmung der Epakte desselben wie bei den vorhergehenden Jahren, so würde diese XXVIIII geben. Statt dessen muß man aber wieder 0 schreiben. Es rückt nämlich in 19 Jahren nach dem Obigen der Neumond im Ganzen um $19 \times 11 = 209$ Tage fort; welches $= 6 \times 30 + 29$ Tage sind; 6×30 Tage sind in der Tabelle schon wie gesagt in Rechnung gebracht, es bleiben also nur noch 29 Tage übrig, welche für das 1. Jahr des neuen Cyclus als ein voller Monat gerechnet werden müssen, und so ergibt sich für das 20. Jahr des alten oder das 1. Jahr des neuen Cyclus 0 oder * als Epakte.

Digitized by Google

Die Epakten sind eingeführt worden, um das Osterfest leicht für jedes Jahr bestimmen zu können, indem dasselbe bekanntlich nach dem Mondeslaufe sich richtet.

Erdbeben, Erderschütterungen sind wie die feuerspeienden Berge die Aeußerungen des inneren, wenn man so sagen darf, Gährungsprocesses der Erde, welcher einst mächtiger gewesen sein mag als jetzt, der aber auch in den neuesten Zeiten noch nicht aufgehört hat, wie die gewaltigen Umgestaltungen bezeugen, welche die Erdoberfläche noch täglich und oft zum größten Verderben ihrer Bewohner erleidet. Die Erdbeben bestehen in einer mehr oder weniger heftigen Erschütterung der Erdoberfläche, durch welche häufig große Strecken Landes versenkt oder gehoben, mächtige Spalten, Berge in vorher ebenen Gegenden, Inseln in Meeren, Seen in festem Lande erzeugt, Meerengen eröffnet, Inseln versenkt, Berge in Seen umgewandelt werden. Dabei stürzen dann die Wohnungen der Menschen zusammen, Städte werden zerstört, ja zuweilen ganz von der Erde verschlungen. Pflanzen und Thiere kommen so in die Tiefe der Erde, wo sie, nachdem sie oft Jahrhunderte begraben gelegen, häufig späterhin zum Theil in Stein umgewandelt wieder aufgefunden werden. Die Gestaltungen der Erdoberfläche, welche diese jetzt hat, lassen sich zum Theil aus den gewaltigen Wirkungen solcher Erderschütterungen erklären. Am häufigsten kommen dieselben in den Küstengegenden vor, besonders in der Nähe feuerspeiender Berge, häufiger in bergigen als in flachen Gegenden; aber kein Ort der Erde ist vor ihnen völlig sicher, und wir wissen aus der Geschichte, daß sie in allen Gegenden, welche wir kennen, nur an einigen häufiger als an anderen, vorgekommen sind; so wie wir aus den Zusammenstellungen, welche in neuerer Zeit, wo fast alle Gegenden der Erde in geistigem Verkehre stehen, ersehen, daß wohl kein Tag vergeht, an dem sich nicht irgend wo eine Erschütterung ereignet. In den kalten Zonen und in der heißen sind sie indeß im Ganzen wohl häufiger als in den gemäßigten Zonen. Es gibt Gegenden, in denen sie zu den alltäglichen Erscheinungen gehören.

Mit den Erscheinungen in der Atmosphäre der Erde stehen die Erdbeben in gar keinem näheren Zusammenhange, obgleich sie, wie natürlich, zuweilen mit außerordentlichen atmosphärischen Erscheinungen zusammentreffen können. Sie ereignen sich eben sowohl beim höchsten wie beim niedrigsten Barometer- und Thermometerstande, beim schönsten heitersten Wetter wie bei Sturm und Regen. Daher gibt es auch gar keine Anzeigen und Vorzeichen der Erderschütterungen, die aus meteorologischen Erscheinungen zu entnehmen wären. Dagegen gibt es allerdings andere Vorzeichen der Erdbeben, die aber auch nur in gewissen Fällen eintreten und welche ihren Grund in denselben vulkanischen Vorgängen im Innern der Erde haben, durch welche die Erdbeben selbst erzeugt werden. So versiegen bisweilen vor einem Erdbeben die Quellen und Brunnen, so daß die Stangen und Ketten an den Eimern verlängert werden müssen, um das Wasser zu erreichen, oder es trüben sich die Quellen, es entstehen ungewöhnliche Bewegungen des

Digitized by Google

Meeres. Diese Erscheinungen können aber natürlich auch aus anderen Gründen als diejenigen sind, welche den Erdbeben zu Grunde liegen, erfolgen. Sichere Vorzeichen dagegen, welche wenigstens stets Vorgänge vulkanischer Art im Inneren der Erde bekunden, sind das Aufsteigen mephitischer Gasarten von der Erdoberfläche, das Hervorbrechen von Flammen aus der Erde und aus dem Meere und namentlich plötzliche Unterbrechungen des aus den Vulkanen aufsteigenden Rauches so wie aller derjenigen Erscheinungen an Vulkanen (s. Berge, feuerspeiende), welche Ausbrüchen derselben vorherzugehen pflegen; denn die meisten heftigen vulkanischen Ausbrüche der Berge sind von Erdbeben begleitet so wie diese von jenen. Häufig treten auch die Erdbeben urplötzlich ein. Das Aufsteigen mephitischer Gasarten wird unmittelbar weniger von den Menschen als von den Thieren empfunden, weil diese schärfere Sinne und das Haupt gegen die Erde geneigt haben. Die Thiere gerathen in solchen Fällen in eine gewisse Angst, welche sie durch Unruhe und Geheul zu erkennen gibt; die Maulwürfe und Mäuse kommen aus ihren Löchern hervor, das Wild aus dem Walde, die Vögel fliegen unruhig her und hin u. dergl.

Die Erdbeben sind gewöhnlich nach Maßgabe der Heftigkeit der Erschütterung von einem unterirdischen dem Donner ähnlichen aber noch tieferen Getöse begleitet; der Boden bewegt sich dann wellenförmig in horizontalen bisweilen wirbelnden Schwingungen, welche in unbestimmten Zwischenräumen nach verschiedenen Richtungen mit großer aber meßbarer Geschwindigkeit gehen, auch wohl von starken senkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet sind. Daß wirbelnde oder rotirende Bewegungen in der That stattfinden, sieht man namentlich aus denjenigen Fällen, wo Häuser und andere Gegenstände durch Erderschütterungen gradezu umgedreht worden sind. Die einzelnen Stöße bei einem Erdbeben sind in der Regel nur von kurzer Dauer, gewöhnlich währen sie nur wenige Secunden. Die Verwirrung und Betäubung, welche heftige Erdstöße nach sich ziehen, gestatten indeß selten eine ruhige Beobachtung.

Einzelne Jahre sind besonders reich an Erschütterungen. Um einen Begriff von der Menge derselben zu geben, führe ich diejenigen an, welche vom Jahre 1829 v. Hoff zusammengestellt hat. Anfang Januars wurde zu Portsmuth im Nordamerik. Staate New-York ein leichter Erdstoß empfunden; den 4. Januar war ein Erdbeben zu Macassar; während des ganzen Monats waren fast tägliche Erderschütterungen zu Alt-Schamachi (Georgien). Aus Patras (Griechenland) wird vom 8. Februar berichtet, daß man schon seit Wochen täglich Erdstöße empfände; den 21. und die Nacht zum 22. Februar richtete eine Erderschütterung in Island großen Schaden an. Den 8. März war ein Erdstoß in Sibirien, den man auf eine Länge von 100 geograph. Meilen empfand. In der Festung Tunka, südlich vom Baikalsee sollen die Erschütterungen 3 Minuten gedauert haben, ein ungeheurer Felsen stürzte zusammen, an vielen Stellen öffnete sich die Erde, das Eis auf dem Flusse und dem See ging aus einander, es folgten Erdschwankungen vom 8. bis 22. März mehremal des Tages. Den 18. bis 19. März

Digitized by Google

ein heftiges Erdbeben zu Malung in Schweden; den 21. März Erdbeben auf Jamaica; vom 21. März an waren in Spanien zwischen Murcia und der Meeresküste mehre Monate hindurch wiederholte Erdbeben, v. Hoff führt 24 Orte an, welche mehr oder weniger litten. Am 21. März empfand man gleichzeitig eine Erdschwankung in Madrid, auch in Beas de Segura und in la Mancha wurde das Erdbeben empfunden. Im Meere 14 Meilen nordöstlich von Torreviejo und südöstlich vom Vorgebirge Palos fanden mehrere Erderschütterungen statt, ein Schiff erhielt einen so heftigen Stoß, daß man es gestrandet glaubte. Den 22. März zwei starke Erdstöße zu Ancona; den 31. zwei starke Erdstöße zu Jamaica; den 2. April Erderschütterungen bei Dieppe; den 7. ein Erdstoß zu Petropaulosk in Sibirien; den 10. Erdbeben zu Pontferrada (Leon, Spanien); den 13. Erdbeben, die von der Insel Thassio der macedonischen Küste gegenüber durch einen Theil von Macedonien bis Adrianopel empfunden wurden; außer andren Verwüstungen wird erwähnt, daß das Dorf Xanthy fast mit allen seinen Bewohnern von der Erde verschlungen worden sei. Den 23. April ziemlich heftige Erderschütterungen zu Freiburg in Baden und zu Münsterthal bei Staufen. Zu Jakson im Nordamerik. Staate Tennessé wurden im April Erderschütterungen empfunden, am 4. Mai Erdstöße in der Gegend von Valladolid; den 5. Mai wieder Erdstöße an den macedon. und thracisch. Küsten, die von Salonichi bis Constantinopel sogar in Bucharest empfunden wurden; den 13. Mai Erderschütterung zu Petropaulosk in Sibirien; den 19. ein Erdstoß zu Mexiko; den 21. und die folgenden Tage 16 Erdstöße im Kirchenstaate; den 22. ein Erdstoß zu Grätz; den 23. zwei Erdstöße in der Gegend von Constantinopel und Skutari; den 29. Erdstoß zu Jamaica; den 1. Juni und die vorhergehenden Tage Erderschütterungen bei Albano (auch in Bonn wurde eine Bebung der Erde wahrgenommen); den 2. Juni 3 Erdstöße auf der Schneekoppe im Riesengebirge, nachdem vorher das Mineralwasser zu Warmbrunn molkig und blau geworden; bis zum 17. schon seit einem Monat Erdbeben in Mexiko; den 1. Juli Erdbeben in Ungarn, vor welchem die Thiere große Unruhe zeigten; den 7. August Erderschütterungen im Elsaß; den 17. ein Erdstoß in Kopenhagen, Gothenburg und anderen Orten; den 20. zwei leichte Erdstöße in Jamaica; den 31. August bis 1. September Erderschütterungen im Wologdaschen und Archangelschen Gouvernement; den 6. Erdbeben zu Cremona; den 26. September ein Erdstoß zu Chili; den 5. October ein Erdbeben in Steiermark; den 12. im Canton Bern; den 20. in Granada. Den 26. November Erdbeben von Siebenbürgen bis nach Kiew, welches großen Schaden anrichtete; den 27. November Erderschütterungen im Departement Charente (Frankreich), auch im Kirchenstaate empfand man in diesem Monate Erderschütterungen; den 30. einen Erdstoß zu Inspruck. Den 6. December Erdbeben bei la Rochelle im Departement Charente; den 22. eine Erderschütterung im Departement de l'Ain. Auch in Siebenbürgen wurde im December eine Erderschütterung bemerkt. Fast das ganze Jahr wiederholten sich die Erschütterungen in der Gegend von Murcia.

Digitized by Google

Besonders heftig und in der weitesten Ausdehnung zeigen sich die Wirkungen der Erdbeben am Meere. Das Erdbeben selbst wird, wie schon oben in einem Falle erwähnt wurde, in den Schiffen auf dem Meere in der Art empfunden, daß die Menschen auf den Schiffen glauben, diese wären gegen eine Klippe gestoßen; an den Küsten zieht sich das Meer plötzlich zurück, um sich dann ungewöhnlich hoch zu erheben und große Ueberschwemmungen anzurichten. Beim Erdbeben von Lima 1586 erhob sich eine Welle im Hafen von Callao 84 Fuß hoch. Bei dem Erdbeben, welches 1693 Syracus zerstörte, ging das Meer erst so schnell zurück, daß viele Fische auf dem Grunde liegen blieben, kehrte aber dann mit großer Heftigkeit zurück, trat in die Stadt und in die Citadelle und ließ dort nachher eine Menge Fische zurück. Beim Erdbeben von Lissabon 1755 überschwemmte das Meer die Küsten von Schweden, England und Spanien und in Amerika die Inseln Antigua, Barbados und Martinique. In Barbados stieg die Fluth, welche sonst höchstens 28 Zoll sich erhebt, zu 20 Fuß in der Bai von Carlisle. In Cadix überschwemmte eine 60 Fuß hohe Meereswelle einen Theil der Stadt.

Zu den bedeutendsten Erdbeben in Europa gehört dasjenige, welches im Jahre 63 nach Christi Geburt Herkulanum und Pompeji zerstörte, die später im Jahre 79 durch die Asche und Lava des Vesuves verschüttet wurden und die erst in den neuesten Zeiten wieder ausgegraben worden sind. Ein sehr heftiges Erdbeben zerstörte vom 5. Februar bis zum 28. März 1783 Calabrien und die Stadt Messina, es verbreitete sich vom Städtchen Oppido aus 5 Meilen in die Runde über eine Fläche von 80 Q. M., wie es schien ging es vom Aetna aus und pflanzte sich unter dem Meere hin fort. Es wurden überhaupt gegen 400 Dörfer und Städte zerstört, über 100 Berge glitten herab, stürzten zusammen, dämmten Flüsse zu, bildeten Seen und die ganze Gegend wurde so verändert, daß sie kaum wieder zu erkennen war. Als sonderbare Thatsachen wird erzählt, daß ein Mann, eine Frau und ein Esel sammt dem Boden, auf welchem sie gingen, über einen Fluß geworfen wurden. Ein anderer Mann saß auf einem Citronenbaume, während dieser mit dem Erdreich aufgehoben und eine Strecke fortgeschleudert wurde, wo er dann wieder fest wuchs. Es sollen gegen 100000 Menschen bei diesem Erdbeben umgekommen und beschädigt worden sein. Bei einem Erdbeben in Sicilien 1693 wurden 50 Ortschaften zerstört und gegen 100000 Menschen sollen umgekommen sein. Das heftigste Erdbeben, welches Europa getroffen, so weit die Geschichte reicht, war das, welches den 1. November 1755 Lissabon großentheils zerstörte und wobei 30000 Menschen den Tod fanden. Gleichzeitig wurden in den fernsten Gegenden Erdstöße bemerkt. Nach Muncke verbreiteten sie sich von Grönland und Island aus über Norwegen, Schweden, Deutschland, die Schweiz, Frankreich, Spanien, Marocko, Salee, Fez, Tetuan, selbst bis zu den Antillen und zum See Ontario. Auf den ersten heftigen Stoß in Lissabon folgten abwechselnd noch mehre nach ungleichen Zwischenzeiten in verschiedenen Gegenden Europas, am 9. December aber noch ein heftiger zu Lissabon und ebendaselbst

Digitized by Google

abermals am 27. deſſelben Monats, und zu gleicher Zeit wurde eine merkwürdige Erſchütterung wahrgenommen, deren Richtung auf die frühere faſt genau perpendiculär war. Sie lief nämlich durch das Rheinthal vom Elſaß und Lothringen nach Cöln, und von dort auf der einen Seite weſtwärts durch Brabant bis zur Picardie, und oſtwärts durch Cleve bis nach Weſtphalen. Vielfach merkwürdig iſt das Erdbeben, welches 1818 Catanea verwüſtete. Schon vor dem Stoße fühlten die Fiſcher eine eigene Bewegung des ungewöhnlich warmen Waſſers an den Küſten, und auf dem ſeit 1811 ruhigen Aetna drangen Flammen aus der alten Lava. Schon einige Tage vorher drang Waſſer durch dieſelbe, die Brunnen wurden trübe, und bei Paraspolo entſtanden 6 Minuten vor dem Stoße mit großem Geräuſche 14 Springbrunnen heißen Waſſers, aus deren Oeffnungen an den folgenden Tagen Waſſerdampf aufſtieg. An einer Stelle in der Nähe dieſer Gegend entſtand eine plötzliche Detonation, wodurch ein Haus, ein Stück Marmor und mehrere Subſtanzen zerſchlagen und in Stücken umhergeworfen wurden. Die Erſchütterung, wodurch in Catanea, Mascalucia, Nicoloſi, Trecastagne, Bigrande, Aci-Catane, Zafarane u. ſ. w. viele Häuſer, Kirchen, Klöſter u. ſ. w. beſchädigt wurden oder einſtürzten, war theils in die Höhe gerichtet, theils hin und her bewegend, theils drehend, indem namentlich eine große Steinmaſſe 25° von Oſten nach Süden gedreht wurde. An einigen Orten wurden Mauern ſo geſpalten, daß man im Augenblicke den Mond hindurchſehen konnte, vereinigten ſich aber ſo genau wieder, daß man die Riſſe kaum wahrnahm. Nach der Kataſtrophe verdunkelte ſich der Himmel etwas, es wurde aber bald wieder hell, und außergewöhnliche meteorologiſche Erſcheinungen zeigten ſich keine.

Schon im Art. Berge, feuerſpeiende iſt von den ſchrecklichen Verheerungen die Rede geweſen, denen Island durch vulkaniſche Ausbrüche und Erdbeben ausgeſetzt iſt. Im Jahre 1784 wurden allein im Syſſel Arneß 372 Meierhöfe beſchädigt, 69 unter dieſen wurden ganz umgeſtürzt und 64 unbewohnbar gemacht. Auf der ganzen Inſel wurden 1409 Häuſer mehr oder weniger zerſtört. Dieſe Zerſtörungen erſcheinen um ſo bedeutender, wenn man bedenkt, wie wenig bewohnt Island iſt.

Das Erdbeben, welches den 29. September 1820 auf Zante vorfiel, zeichnet ſich beſonders durch die es begleitenden meteorologiſchen Erſcheinungen aus, welche jedoch, wie ſchon oben geſagt wurde, als zufällig mit dem Erdbeben zuſammentreffend angeſehen werden müſſen. Nachdem mehre Tage eine außerordentliche Wärme geherrſcht hatte, erhob ſich am 29. December morgens ein heftiger Wind, auf welchen plötzlich eine kurze Windſtille folgte. Nachdem man ſchon im Anfange der Nacht ein unterirdiſches Getöſe gleich einzelnen Trommelſchlägen wahrgenommen hatte, erfolgte plötzlich nach einem heftigen unterirdiſchen Donner eine Erderſchütterung, welche nur eine halbe Minute anhielt, aber 80 Häuſer umſtürzte und gegen 800 ſtark beſchädigte. Die Bewegung der Erſchütterung ging erſt ſenkrecht in die Höhe, dann horizontal und zuletzt drehend. Nachher erhob ſich der Wind mit Platzregen und Hagel von außerordentlicher Größe und Geſtalt aufs neue,

Digitized by Google

währte 25 Tage und war von großer Kälte begleitet. Einige Minuten vor der Erderschütterung erblickte man am Vorgebirge Geraca ein feuriges Meteor über dem Wasser schweben. An demselben 29. December des Morgens wurde die Südküste der Insel Celebes durch ein heftiges Erdbeben erschüttert.

Viele Gegenden Asiens sind von häufigen Erderschütterungen heimgesucht. Die schrecklichsten Erdbeben haben während mehrer Jahrhunderte Syrien getroffen. Im Jahre 17 wurden 13 große Städte in einer Nacht zerstört; 315 ging Areopolis unter; 526 kamen allein zu Antiochien am Orontes durch ein Erdbeben gegen 200000 Menschen um; 551 wurden Baritus, Sydon und mehre andre Orte Syriens zu Grunde gerichtet; 859 stürzte bei einem Erdbeben ein Theil des Berges Acräus ins Meer; 1169 dauerten die Erdbeben 4 Monate lang; 1202 wurden wieder viele Städte zerstört, ganze Thäler des Libanon verschüttet u. s. w. Hierauf folgte eine etwas ruhigere Zeit, aber 1759 wütheten 6 Wochen lang wiederum die schrecklichsten Erdbeben; bei dem ersten Erdstoße wurden die Städte Antiochien, Balbeck, Sayd, Akre, Fussa, Saphet, Nazareth und Tripolis zertrümmert; über 30000 Menschen verloren das Leben. Im Jahre 1822 wurde in der Nacht vom 13. August Aleppo, Antiochien, Dschollib, Biha, Gissser, Schogr, Derkusch, Armenas, jedes einzelne Dorf, jede einzelne Hütte zusammengestürzt, über 20000 Menschen kamen dabei um. An verschiedenen Orten sah man Feuerflammen, während die Erdstöße bis Damascus, Cypern und Adana empfunden wurden; zu Aleppo, Antiochien, Sukdin und Skanderum war es die ganze Nacht so hell wie beim Mondschein. Die Witterung zeigte nichts Außerordentliches. Palästina blieb bei allen diesen Ereignissen unversehrt und Muncke meint, man könne mit Recht annehmen, Palästina werde durch das todte Meer und die in dasselbe dann häufig stattfindenden Ergüsse von Asphalt geschützt, indem hierdurch die unterirdischen gasförmigen Substanzen einen Ausweg finden.

Von Erdbeben in Afrika ist so wie überhaupt von diesem Erdtheile wenig bekannt; desto mehr wissen wir von Erdbeben in Amerika. Im Jahre 1746 wurde Lima binnen 3 Minuten durch ein Erdbeben fast ganz zerstört, 23 Schiffe wurden dabei versenkt, Callao wurde überschwemmt und von 4000 Menschen retteten sich nur 200; ein heftiges Erdbeben traf Neu-Andalusien im Jahre 1766, ein anderes Peru im Jahre 1797, bei welchem die Erderschütterungen vom Vulkane Tunguragua ausgingen. Das Erdbeben von Valparaiso am 19. November 1822 ist besonders merkwürdig durch die drehenden Bewegungen, welche bei demselben augenfällig stattfanden. Mehre Häuser wurden umgedreht und 3 Palmen wie Weiden um einander gewunden. Das Land an der Küste hob sich ohne nachher wieder zu sinken. Von dem Erdbeben, welches 1812 Caracas zerstörte, hat v. Humboldt eine Beschreibung gegeben, aus welcher Muncke Folgendes mittheilt.

Caracas glaubte wegen der dortigen Urgebirge sich versichert, obgleich schon 1641, 1703, 1778 ein stärkeres und 1802 geringere Erd-

Digitized by Google

stöße verspürt waren. Daß auch diese Gegend in einem vulcanischen Zuge liegt und daher solchen Katastrophen ausgesetzt sein muß, bezweifelte v. Humboldt nach seinen Beobachtungen nicht. In diesem vulkanischen Kreise waren zuletzt im December 1811 verschiedene Erdstöße verspürt, als mit dem 26. März der Stadt Caracas der Tag ihres Unterganges erschien. Der Himmel war heiter, und in Venezuela war seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen, warnende Vorzeichen gingen nicht voraus, sondern ganz unvermuthet erfolgte Abends 4 Uhr 7 Minuten der erste Stoß, wodurch die Glocken zu läuten anfingen. Sogleich folgte ein zweiter, welcher den Boden wellenförmig wallen machte, bald darauf ein unterirdisches Getöse und dann wieder eine senkrechte, bald in eine wellenförmige übergehende Erschütterung, welcher nichts zu widerstehen vermochte. Anstatt sofort das Freie zu suchen, war das Volk augenblicklich in die Kirchen geströmt, wohin man noch obendrein eine Procession anordnete, als schon die Menge der dort versammelten Menschen unter den Ruinen begraben wurde. Zwei Kirchen nämlich, der Trinida und der Alta Gracia von mehr als 150 Fuß Höhe und durch 12 bis 15 Fuß dicke Pfeiler gestützt, stürzten in Schutthaufen von 6 Fuß Höhe, großentheils in Staub zermalmt zusammen. Die Caserne El Quartel verschwand fast ganz, und ein darin aufgestelltes Regiment, welches zur Processfion gehen sollte, verschwand bis auf wenige noch zugleich mit. Neun Zehntel der Stadt waren gänzlich zerstört, und die meisten übrig gebliebenen Häuser waren unbewohnbar. Man berechnet die Zahl der Erschlagenen auf nahe 10000, diejenigen ungerechnet, welche durch Verstümmelung und Mangel an Nahrung nachher umkamen. Als die Staubwolke sich gelegt hatte, folgte eine heitere Nacht, welche mit der Zerstörung der Erde und den mit Leichen bedeckten Trümmern einen furchtbaren Contrast bildete. Die Dauer der eigentlichen Stöße wird von einigen 50 Min., von anderen 1 Min. 12 Sec. angegeben. Die Erderschütterungen verbreiteten sich auch über die Provinz Venezuela, Barinas, Maracaibo und die Gebirge im Innern des Landes. La Guyara, Mayquetia, Antimano, Baruta, la Vega, S. Felipe und Merida wurden fast ganz zerstört. In Guyara und Felipe betrug die Zahl der Erschlagenen gegen 5000. Das Erdbeben schien in einer Linie von ONO. nach WSW. von Guyara und Caracas nach den Bergen von Niquitao und Merida am heftigsten gewesen zu sein, erstreckte sich über eine Länge von 180 franz. Meilen von Caracas bis an den Magdalenenfluß, und war stärker auf den Gneiß- und Glimmerschiefer-Cordilleren als in den Ebenen. Zu Valecillo bei Valencia warf die zerrissene Erde so viel Wasser aus, daß sich ein Strom daraus bildete, und ebenso bei Porto Cabello; dagegen wurde der Spiegel des Sees von Maracaibo vermindert. Alle seitwärts vom eigentlichen Zuge gelegenen Gegenden, namentlich die sonst so gefährlichen Küsten von Araya, Cumana und Nueva Barcellona litten nichts.

Was den Grund der Erdbeben betrifft, so ist er derselbe, welcher die Wirksamkeit der Vulcane bedingt; genauer setzt ihn Kries in die Bildung von Wasserstoffgas im Inneren der Erde, welches durch Beimischung von atmosphärischer Luft zu Knallgas wird und dann entzün-

Digitized by Google

det die bei den Erdbeben und den Vulcanen auftretenden Erscheinungen bewirkt. Gewiß nichtig und die Natur der Erdbeben keineswegs hinreichend erklärend ist die von einigen Physikern vertheidigte Annahme, daß dieselben elektrische Erschütterungsschläge wären.

Zu Beobachtung der Erdbeben hat Salsano einen eigenen Apparat angegeben unter dem Namen Erdbebenmesser, den ich aber übergehen zu dürfen glaube, da seine Ausführung wenigstens in unseren Gegenden unnütz erscheint.

Erde, Erdball, Erdkugel, der von uns bewohnte Erdkörper, welcher ein Planet ist und wie die übrigen uns bekannten Planeten in einer kreisförmigen Bahn um die Sonne sich herum bewegt.

Dem Augenscheine nach besteht die ganze Welt aus Himmel und Erde. Der Himmel scheint mit seinen Gestirnen um die Erde sich herum zu bewegen und die Erde scheint, abgesehen von ihren im Verhältniß zur ganzen Ausbreitung derselben nur geringen Erhöhungen eine horizontale Fläche zu sein. Es hat eine sehr lange Reihe von Jahren und eine große wissenschaftliche Bildung dazu gehört, ehe die Menschen zu der Erkenntniß gekommen sind, daß, was so der Augenschein lehrt, eben nur Schein nicht Wirklichkeit sei, daß die Erde einer der kleinsten kugelförmigen Weltkörper sei und daß der Himmel mit der Mehrzahl seiner Gestirne feststehe, die Erde aber im Weltraume in einer regelmäßigen Bahn um einen der vielen feststehenden Weltkörper sich herum bewege. Jedes Volk der Erde hat nach dem ihm eigenthümlichen Bildungsgrade verschiedene Vorstellungen von der Erde und dem ganzen Weltgebäude sich gemacht.

Am interessantesten sind diejenigen Vorstellungen, welche sich in dieser Beziehung die Griechen machten als desjenigen Volkes, von dem alle europäische Bildung ausgegangen ist. In dem Zeitalter Homers stellten sich die Griechen die Erde als eine Scheibe vor, um welche der Strom Okeanos fließe. Westlich meinten sie ströme aus diesem bei den herkulischen Säulen (der Meerenge von Gibraltar) das Mittelmeer ein, östlich bei Kolchis (jetzt Mingrelien) der Phasis. Eine zwischen beide Einströmungen gedachte Linie theilte die Scheibe in eine südliche und eine nördliche Hälfte, die Seite des Lichts und die Seite der Finsterniß, Europa (die dunkele) und Asia (wozu auch Aegypten gerechnet wurde). In der Mitte der Scheibe glaubten die Griechen läge Griechenland und in der Mitte von diesem Delphi, wo das von allen Griechen heilig gehaltene Orakel des Apollon war, oder ursprünglich der Olympos, der Berg, auf welchem in frühesten Zeiten die Götter wohnten. Der Okeanos sollte am westlichen Ende der dunklen Erdhälfte aus dem kimmerischen Felsen Leukas entspringen und von da rechts hin mit neun Theilen den Rand der Erde umströmen, während ein zehnter Theil in das Innere der hohlen Erdscheibe sich ergoß und dort als Styx das Todtenreich, das Reich des Aides, umströmte. Nahe bei den Quellen des Okeanos war der Eingang zu diesem Reiche so wie zu dem Kerker des verstoßenen Riesengeschlechtes der Titanen, der Tartaros. Im Gegensatze zu diesem dachten sich die Grie-

Digitized by Google

chen am westlichen Ende der lichten Halbscheibe im Okeanos die glückseligen Inseln, das Elysion, wo Lieblinge der Götter wohnten. Ueber der Erdscheibe wölbte sich das eherne Himmelsgewölbe, welches auf Bergsäulen ruhte, im Westen auf dem Atlas, im Osten auf dem kolchischen Kaukasus. Die Götter wohnten ursprünglich nicht über diesem Himmelsgewölbe, sondern auf dem heiligen Berge Olympos. Aber über dem Olymp befand sich im ehernen Gewölbe eine Oeffnung, welche man erreichte, wenn man die Berge Ossa und Pelion auf den Olymp thürmte. Außerdem hatte das Gewölbe noch zwei Oeffnungen im Osten und im Westen. Täglich trat der Sonnengott Helios durch die östliche Oeffnung aus dem Okeanos, fuhr nahe am Himmelsgewölbe hin und ging durch die westliche Oeffnung wieder in den Okeanos. Ein geflügeltes Schiff trug auf dem Okeanos während der Nacht den Helios wieder nach dem Aufgange zurück. Die Dichter der Griechen bildeten diese und ähnliche Vorstellungen noch weiter aus, und da dieselben mit der Götterlehre der Griechen innig zusammenhingen, so blieben dieselben der allgemeine Volksglaube, nachdem die wissenschaftlich Gebildeten unter den Griechen schon längst richtigere aber prosaische Ansichten über das Weltgebäude und die Erde ausgesprochen hatten. So lehrte Thales um 585 v. Chr. Geb., daß der Himmel eine Hohlkugel sei, zur Hälfte mit Wasser gefüllt, in welchem die Erde, eine runde Säule oder Walze, so schwimme, daß die obere (bewohnte) Scheibe hervorrage und rings von demselben als von einem Weltmeere umgeben sei. Aehnliche Vorstellungen hatten andere weise Männer, aber zuerst lehrten Parmenides und die Pythagoräer um 500 v. Ch. Geb., daß die Erde eine Kugel sei. Aristoteles um 330 v. Ch. Geb. führte entscheidende Gründe für die runde Gestalt der Erde an. Aristarch von Samos lehrte auch schon um 240 v. Ch. Geb., daß die Sonne still stehe und die Erde um sie sich bewege.

Dennoch hat es sehr lange gedauert, ehe die Kugelgestalt der Erde allgemein angenommen wurde und noch jetzt fällt es ungebildeten Menschen schwer, diese richtige Vorstellung zu fassen. Ein Beweis, wie lange und wie hartnäckig man an der durch den Augenschein bestätigten Vorstellung von der Oberfläche der Erde mit mißverstandener religiöser Ehrfurcht hing, gibt die geschichtliche Thatsache, daß im 8. Jahrhunderte nach Chr. Geb. Virgil, der Bischof von Salzburg war, weil er an die Kugelgestalt der Erde glaubte, von dem Papste Zacharias seines Bisthums entsetzt wurde, und daß Gelehrte des Columbus Vorschlage die andere Hälfte der Erde zu beschiffen entgegenstellten, dieß ginge nicht an, weil das Schiff in den Weltraum herunterfallen würde. Ungebildete Menschen stoßen sich noch jetzt besonders darum an die Kugelgestalt der Erde, weil sie nicht begreifen können, wie die Menschen, welche auf der der unseren entgegengesetzten Hälfte der Erdkugel wohnen, also die Füße gegen unsre Füße gekehrt haben, nicht in den Weltraum hinabfallen müßten. Sie begreifen es noch weniger, wenn ihnen gesagt wird, daß wir selbst, da die Erde sich umdrehet, nach 24 Stunden uns in derselben Lage befinden, wie im gegenwärtigen Augenblicke unsere Gegenfüßler. Die scheinbare Schwierigkeit hebt

sich aber bald, wenn wir bedenken, daß wir an die Erde überhaupt nur durch die Anziehung, welche ihr Mittelpunkt gegen unseren Körper ausübt, gehalten werden, daß wir gerade aufrecht dann stehen, wenn unser Körper die Fortsetzung der geraden Linie ist, welche vom Mittelpunkte der Erde nach unseren Füßen reicht, und daß wir oben allemal das, was über unserem Haupte ist, nennen; unten, das was unter unseren Füßen ist. Wie sich aber auch die Erde drehet, und wo irgend auf der Erde wir uns befinden, immer bleibt hiernach für uns die Erde unten und der Himmel oben. Warum wir niemals unmittelbar wahrnehmen, daß die ganze Erdoberfläche kugelförmig gebogen sei, begreifen wir bald, wenn wir bedenken, wie einen geringen Theil der Erde im Verhältniß zu ihrer ganzen Oberfläche wir auch von den höchsten Standpunkten, die wir erreichen können, zu überblicken im Stande sind. Vorausgesetzt, daß gar keine die Aussicht hemmenden Gegenstände vorhanden sind, so ist nach Kries's Berechnung das Verhältniß der verschiedenen Höhen in pariser Fuß zur Weite der Aussicht in geographischen Meilen, wie folgende Tabelle angibt:

Höhe.	Weite.	Höhe.	Weite.
100 F.	2,75	4500 F.	18,40
200 "	3,88	5000 "	19,40
300 "	4,75	6000 "	21,25
400 "	5,50	7000 "	22,96
500 "	6,17	8000 "	24,50
1000 "	8,66	9000 "	26,04
1500 "	10,62	10000 "	37,44
2000 "	12,30	12000 "	30,06
2500 "	13,72	14000 "	32,50
3000 "	15,04	16000 "	34,70
3500 "	16,25	18000 "	36,80
4000 "	17,36	20000 "	38,80

Genauere Ueberlegung einiger allgemein bekannter Erscheinungen läßt indeß bald einsehen, wie die Erde unmöglich eine gerade fortlaufende Fläche sein könne und wie sie vielmehr nothwendig eine Kugel sein müsse. Denken wir uns nämlich einen auf einer Kugel stehenden Menschen und überlegen, welch einen Theil der Kugel derselbe wohl zu übersehen im Stande sein möchte, so bemerken wir, daß er nur diejenigen Theile von der Kugel wird übersehen können, nach denen hin gerade Linien von seinem Auge gezogen werden können. Die von seinem Standpunkte entferntesten Punkte der Kugel, welche jener Mensch noch wird sehen können, werden diejenigen sein, in welchen die von seinem Auge aus gezogenen Tangenten an die Kugel diese berühren. Diese äußersten Grenzpunkte liegen nach allen Seiten von dem Auge des Beobachters rings um die Kugel herum und zwar in gleichen Abständen von seinem Auge; der Mensch auf der Kugel übersieht also einen kreisförmigen Kugelabschnitt. Man durchschaut diesen Umstand noch leichter; wenn man sich von dem Auge des in einiger Entfernung von der

Digitized by Google

Oberfläche der Kugel sich befindenden Beobachters nach allen Seiten zu Strahlen ausgehen denkt und überlegt, welche von diesen Strahlen die Kugelfläche treffen. Diese Strahlen machen zusammen einen Kegel aus, dessen Spitze im Auge des Beobachters, dessen Grundfläche ein kreisförmiger Abschnitt der Kugel ist. Stellen wir uns jetzt dagegen einen auf einer weithin ausgedehnten Ebene stehenden Menschen vor, so also, daß sein Auge sich in einiger Entfernung über der Ebene befindet, so lehrt eine der eben angestellten ähnliche Betrachtung, daß dieser Mensch die ganze Ebene zu überschauen im Stande sein muß, wo nicht etwa zufällige Erhöhungen auf der Ebene die Aussicht beschränken. Vergleichen wir mit diesen beiden Fällen die Art und Weise, wie sich unseren Augen die Erde darstellt, so finden wir, daß auch in denjenigen Fällen, wo keine Unebenheiten der Erdoberfläche die Aussicht beschränken, auf weit ausgedehnten Ebenen, auf dem Meere, auf hohen Bergen u. dergl. dennoch überall die Aussicht eine begrenzte ist, und zwar übersehen wir stets in diesen Fällen einen kreisförmigen Theil der Erdoberfläche, in oder vielmehr senkrecht über dessen Mittelpunkte wir uns befinden. Diese Erscheinung findet auf allen Punkten der Erde statt, von welchen aus man eine unbeschränkte Aussicht hat: der Beobachter auf der Erde verhält sich demnach ganz so wie der Beobachter auf einer Kugel. Wäre die Erde eine ebene tellerförmige Fläche, so würde man zwar auch von dem Mittelpunkte dieser Ebene aus einen Kreis, aber in der That auch die ganze Scheibe überschauen, welches bekanntlich nicht der Fall ist.

Die Krümmung der Erdoberfläche tritt noch auffälliger hervor, wenn man beobachtet, wie Gegenstände, denen wir uns nähern oder die sich uns nähern, allmälig sichtbar werden. Man sieht nämlich niemals auf einmal den ganzen sich nähernden Gegenstand, sondern stets zuerst nur die oberste Spitze desselben und von dieser ab kommen dann bei immer größerer Annäherung mehr und mehr die unteren Theile des Gegenstandes zum Vorschein. Am auffälligsten zeigt sich dieses auf dem Meere, weil hier gar keine bedeutenden unregelmäßigen Erhöhungen der Kugelfläche stattfinden. Die sich nähernden Schiffe tauchen gleichsam aus dem Meere auf, indem man erst die Gipfel der Masten, dann die Masten mit den Segeln und zuletzt erst das ganze Schiff bei zunehmender Annäherung erblickt. Das Entgegengesetzte findet statt, wenn sich ein Gegenstand von uns entfernt, so z. B. bei einem Schiffe wird zuerst der Rumpf des Schiffes, dann werden die Masten mit den Segeln und erst zu allerletzt die Spitzen der Masten uns entzogen. Die Seefahrer sehen von den Küsten zuerst die Spitzen der höchsten Gebirge und erst nach und nach, je näher sie den Küsten kommen, mehr und mehr von den tiefer liegenden auf den Küsten befindlichen Gegenständen und die Küsten selbst. Aehnliches können auch Reisende auf dem flachen Lande beobachten.

Wenn die Erdoberfläche eine Ebene wäre, so müßte ferner die Sonne für alle Erdbewohner zu gleicher Zeit aufgehen, wenigstens überall gleichzeitig, wo nicht die Aussicht durch Berge unterbrochen ist. Bekanntlich geht aber die Sonne desto später für einen Ort auf und desto

Digitized by Google

später für ihn unter, je weiter er gegen Westen liegt. Dieses ist nur dann möglich, wenn die Erdoberfläche in der Richtung von Osten nach Westen gekrümmt ist. Daß eine ähnliche Krümmung der Erdoberfläche aber auch in der Richtung von Norden nach Süden stattfindet, lehrt eine ähnliche Betrachtung. Je weiter wir nämlich nach Süden reisen, desto mehre Sterne erheben sich über den südlichen Horizont, welche von den weiter gegen Norden wohnenden Menschen niemals gesehen werden. Dagegen senken sich die Sterne im Norden gegen den nördlichen Horizont und immer mehre entziehen sich unserem Gesichtskreise. Die Portugiesen versuchten zuerst im 15. Jahrhunderte das Südende von Afrika zu erreichen, um zur See nach Ostindien gelangen zu können. Da bemerkten sie denn, wie, je weiter sie nach Süden segelten, der Polarstern und die ihn umgebenden Sterne immer tiefer herabsanken, das Siebengestirn, welches in Europa niemals weder auf- noch untergeht, unter den Horizont hinabsank, endlich sogar der Polarstern verschwand. Dagegen erhoben sich am südlichen Horizonte früher von ihnen nie gesehene Sterne, von denen einige wie in Europa die Sterne um den Nordpol keinen Auf- und Untergang mehr zeigten. Es waren die Sterne um den Südpol des Himmels. Die Sonne, welche wir stets mehr oder weniger gegen Süden sehen, sahen diese Portugiesen erst gerade über ihren Köpfen, in welchem Falle gar kein Schatten wahrzunehmen war, dann sahen sie dieselbe sogar gegen Norden, wobei Mittags der Schatten, der in Europa überall nach Norden zufällt, nach Süden fiel. Wäre die Erde eine ebene Fläche, so müßte man an der Südspitze von Afrika den Polarstern noch eben so hoch über dem nördlichen Horizont erblicken, wie bei uns in Europa.

Ein anderer Beweis für die Kugelgestalt der Erde liegt darin, daß ihr Schatten, welcher bei Mondfinsternissen einen Theil der erleuchteten Mondscheibe verdunkelt, stets rund erscheint. Nur ein kugelförmiger Körper wirft aber unter allen Bedingungen einen rundbegrenzten Schatten. Wäre die Erde eine runde Scheibe, so würde sie zwar in vielen Fällen auch einen rundbegrenzten Schatten werfen, es könnte aber auch zuweilen der Fall eintreten, daß ihr Schatten sich als eine gerade Linie darstellte; wäre sie ein Cylinder, so würde sie zuweilen einen geradlinig begrengten Schatten zeigen u. s. w.

Den unumstößlichsten Beweis geben endlich für die Kugelgestalt der Erde diejenigen Reisen, welche rund um dieselbe angestellt worden sind. Die Erde ist in den verschiedensten Richtungen umreist worden und die Reisenden sind stets auf der entgegengesetzten Seite, von welcher sie ausgereist sind, wieder zurückgekehrt. Dabei sind sie nirgends auf eine Abkantung oder eine Ecke gekommen, welches doch nöthig wäre, wenn die Erde eine Scheibe oder ein eckiger Körper wäre. Die meisten dieser Reisen sind ganz zu Schiffe zurückgelegt worden, da der größere Theil der Erdoberfläche Meer ist, und werden daher mit einem nicht ganz richtigen Ausdrucke Weltumsegelungen genannt.

Die bisherigen Reisen um die Erde machten (wie sie Muncke aufzählt): Hernando Magalhaens, ein Portugiese, 1519—22, auf span. Schiffen; Francis Drake, ein Engländer, 1577—80;

Digitized by Google

Thomas Candisch, ein Engländer, 1586—88; Jacob Mahu und Simon de Cordes, Holländer, 1598; Olivier de Noort, ein Holländer, 1598—1601; Georg Spilberg, ein Deutscher, mit holländischen Schiffen, 1614—17; Jacob le Mair und Corn. van Schouten, Holländer, 1615—17; Jacob l' Hermite und Hugo Schapenham, Holländer, 1623—26; Cowley, ein Engländer, 1683—86; William Dampier, ein Engländer, 1683—91; Gemelli Careri, ein Italiener, 1693—97, welcher nach Osten theils zu Lande theils zu Wasser eine Reise um die ganze Erde machte; Woodes Rogers, ein Engländer, 1708—11; Eduard Coocke, ein Engländer, 1708—11; Le Gentil de la Barbinair, ein Franzose, 1714—18; Clipperton und Shelvocke, Engländer, 1719—22; Jacob Roggewin, ein Holländer, 1721—23; George Anson, ein Engländer, 1740—44; John Byron, desgl., 1764—66; Samuel Wallis, desgl., 1766—68; Philipp Carteret, desgl., anfangs mit Wallis, 1766—69; Bougainville, ein Franzose, 1766—69; James Cook, ein Engländer, 1769—71, mit Solander und Banks; 1775, mit J. Reinhold und Forster, Vater und Sohn; 1776, mit Clarke und Gore, bis 1779, den 14. Febr., an welchem Tage er auf Owyhee erschlagen wurde. Fourneaux, ein Engländer, 1772—74; Portlock und Dixon, Engländer, 1785—88; Edwards, ein Engländer, 1790—92; Etienne Marchand, ein Franzose, 1790—92; George Vancouver, ein Engländer, 1790—95; A. J. v. Krusenstern, ein Russe, 1803—6; Otto v. Kotzebue, ein Deutscher, auf einem Schiffe des Russischen Grafen Rumanzow, 1815—18; Freycinet, ein Franzose, 1817—20; Otto v. Kotzebue, zum zweitenmale auf Schiffen der Russischen Marine. — Muncke bemerkt noch: die mit den Weltumsegelungen verbundenen Schwierigkeiten und Gefahren sind durch die neuesten Verbesserungen der Schifffahrt größtentheils verschwunden, und jene daher häufiger geworden, haben aber auch ihre Bedeutsamkeit fast gänzlich verloren, wenn sie nicht zu anderweitigen Entdeckungen dienen, da die kugelförmige Gestalt der Erde hinlänglich erwiesen ist. Auch die Freibeuter Bowers 1679 und Peachor umschifften die ganze Erde, und ein Deutscher, C. F. Behrens, kam theils zu Wasser theils zu Lande um die ganze Erde.

Die Erde ist indeß keine vollkommene Kugel, sondern nur ein kugelförmiger Körper. Ehe ich aber näher angebe, wie man dieses entdeckt, und welches genauer die Gestalt der Erde sei, will ich in der Kürze diejenigen Linien angeben, welche man sich auf der Erde gezogen denkt und die man auf den die Erde vorstellenden Kugeln (Globen) wirklich ausführt. Man zieht diese Linien zu einer möglichen Eintheilung der ganzen Erdoberfläche so, daß sie dieselbe wie ein Netz überspannen, und da sie aus der Stellung der Erde zu den übrigen Himmelskörpern entnommen sind und ihre Größe und Gestalt durch die der Erde bedingt ist, so dienen sie zugleich zu genauerer Bestimmung und Erklärung aller derjenigen Erscheinungen, welche ihre Ursache in der

Digitized by Google

Stellung der Erde zu den übrigen Himmelskörpern und der Gestalt und Größe ihrer Oberfläche haben. Genauer ist von ihnen unter den einzelnen Artikeln, welche ihr den Namen geben, die Rede.

Bekanntlich scheint sich das ganze Himmelsgewölbe alle 24 Stunden um die scheinbar fest stehende Erde einmal herumzubewegen und zwar geschieht diese Bewegung um zwei fest stehende Punkte oder vielmehr um eine diese beiden Punkte verbindende gerade Linie. Diese beiden Punkte heißen die Pole des Himmels und zwar erblicken wir in unseren Gegenden nur einen dieser Pole über dem Horizonte nämlich den Nordpol, in dessen Nähe sich der Polarstern befindet, welcher daher niemals unter den Horizont sinkt und bei der scheinbaren Drehung des Himmels einen unmerklich kleinen Kreis beschreibt, ohne jemals unter den Horizont zu sinken, also ohne jemals auf- oder unterzugehen. Es wurde schon oben bemerkt, daß wenn man weiter hin nach Süden reise, man endlich auch den Südpol oder in seiner Nähe liegende Sterne, die bei uns niemals erscheinen, erblicke. Diejenigen Punkte nun, welche auf der Erde gerade unter den Polen des Himmels sich befinden, d. h. diejenigen Punkte der Erde, in denen ein aufrecht stehender Mensch einen Pol des Himmels gerade über seinem Haupte (im Zenith s. d. Art.) haben würde, heißen die Pole der Erde, und eine sie verbindende gerade Linie heißt die Axe der Erde. Nehmen wir die Erde zunächst noch als eine wirkliche Kugel an, so können wir uns rund um dieselbe unzählige durch beide Pole gehende größte Kreise der Kugel gezogen denken, deren gemeinschaftlicher Durchmesser die Axe der Erde ist; diese Kreise heißen Meridiane oder Mittagslinien. Wie alle Kreise theilt man auch diese in 360 Grade und jeden Grad wieder in 60 Minuten u. s. w. Zwischen den beiden Polen liegen folglich in jedem Meridiane 180 Grade und die Hälfte dieser Halbkreise liegt bei 90 Grad. Nun denke man sich in dieser Entfernung von 90° von jedem Pole eine alle Meridiane schneidende Linie gezogen, so ist diese ebenfalls ein größter Kreis der Kugel, auf welchem die Axe, welche beide Pole verbindet, senkrecht steht, wie die Geometrie lehrt. Dieser größte Kreis der Erdkugel heißt der Aequator derselben oder der Gleicher oder die Linie. Auf der Ebene des Aequators stehen die Ebenen aller einzelnen Meridiane senkrecht, und da auch der Aequator in Grade und Minuten u. s. w. getheilt wird, so können die einzelnen Meridiane, wenn man einen derselben als den ersten annimmt, nach den verschiedenen Abständen von dem Durchschnittspunkte dieses ersten Meridians mit dem Aequator, in welchen sie den Aequator schneiden, zählen. Wenn man angibt, unter welchem Meridiane auf diese Weise irgend ein Ort der Erde liegt, so nennt man dieses die Bestimmung der geographischen Länge des Ortes. Parallel mit dem Aequator denkt man sich nun noch Kreise um die Erde gelegt, die Parallelkreise oder kurz Parallelen. Wie der Aequator schneiden diese Parallelen sämmtliche Meridiane, und so ist die Erde von den Meridianen und Parallelkreisen wie von einem Netze umsponnen. Die Parallelkreise sind natürlich nicht größte Kreise der Erdkugel, sondern werden von dem Aequator ab nach den Polen zu immer kleiner und kleiner, bis sie in

Digitized by Google

den Polen selbst zu Punkten sich zusammenziehen. Nehmen wir den Nullpunkt der Gradeintheilung jedes einzelnen Meridians in seinem Durchschnittspunkte mit dem Aequator an, so können die Parallelkreise auf den Meridianen nach ihrer Entfernung vom Aequator gerechnet werden, und wenn man so angibt, unter welchem Parallelkreise irgend ein Ort der Erde liegt, so nennt man dieses: seine geographische Breite bestimmen. Sobald man weiß, welches die geographische Länge und welches die geographische Breite eines Ortes sei, d. h., wenn man weiß, unter welchem Meridiane und zugleich unter welchem Parallelkreise irgend ein Ort der Erde liege, so weiß man ganz genau die Lage desselben; denn er liegt in dem Durchschnittspunkte beider Linien.

Da die Parallelkreise von dem Aequator an nach beiden Polen zu gezählt werden, so muß bei Angabe der Breite eines Ortes jedesmal hinzugefügt werden ob dieselbe südlich oder nördlich sei, d. h. ob der über den Ort gehende Parallelkreis vom Aequator aus gegen den Nordpol oder gegen den Südpol zu liege.

Nicht alle Bewohner der Erde haben die Sonne im Laufe des Jahres einmal gerade über ihren Köpfen im Zenith, sondern nur diejenigen, welche bis zu einer bestimmten Entfernung um den Aequator wohnen. Diejenigen Parallelkreise, welche in dieser Entfernung vom Aequator um die Erde gehen, heißen Wendekreise. Sie liegen zu beiden Seiten des Aequators in gleicher Entfernung von demselben und zwar heißt der gegen den Nordpol zu liegende der Wendekreis des Krebses, der gegen den Südpol zu liegende der Wendekreis des Steinbocks. In derselben Entfernung von den Polen, in welcher die Wendekreise vom Aequator liegen, zieht man diejenigen Parallelkreise, welche man nach den ihnen zunächst liegenden Polen, den einen den nördlichen, den anderen den südlichen Polarkreis nennt. Durch die Wendekreise und die Polarkreise wird die ganze Erde in fünf Zonen oder Erdgürtel zerlegt, nämlich: 1) die nördliche kalte Zone rings um den Nordpol, begrenzt von dem nördlichen Polarkreise; 2) die nördliche gemäßigte Zone, begrenzt auf der einen Seite vom nördlichen Polarkreise, auf der anderen vom Wendekreise des Krebses; 3) die heiße Zone auf beiden Seiten des Aequators, gegen Norden von dem Wendekreise des Krebses, gegen Süden von dem Wendekreise des Steinbocks begrenzt; 4) die südliche gemäßigte Zone, gegen Norden von dem Wendekreise des Steinbocks, gegen Süden von dem südlichen Polarkreise begrenzt; endlich 5) die südliche kalte Zone rings um den Südpol, ringsum begrenzt von dem südlichen Polarkreise. Es gibt also eine heiße, zwei gemäßigte und zwei kalte Zonen der Erde.

Ich deutete schon an, daß die Erde in der That keine vollkommene Kugel sei. Man fand dieses und die wahre Gestalt der Erde auf, als man genauere Versuche zu Bestimmung der Größe der Erde anstellte. Die Art und Weise, wie man die Größe der Erde aufzufinden gesucht hat, ist folgende. Gesetzt die Erde sei eine wirkliche Kugel und BLM (Fig. 112.) stelle dieselbe (im Durchschnitte nach einem Meridiane) vor. A und B seien zwei Punkte auf der Oberfläch

der Kugel, welche beide in demselben Meridiane ABLM liegen. Ist nun DA die auf der Erdoberfläche in A senkrecht stehende Linie, d. h. diejenige Linie, in welcher eine an ihrem Ende mit einem schweren Körper versehene oberwärts befestigte Schnur herabhängt oder was dasselbe diejenige Linie, welche vom Zenith eines in A befindlichen Menschen nach dessen Fußpunkte herabreicht und ist eben so BF die Senkrechte auf der Erdoberfläche in B: so werden beide Linien DA und BF in dem Mittelpunkte C sich schneiden. Gesetzt nun, ein Beobachter in A sehe einen Stern in der Richtung AD gerade in seinem Zenith stehend, so wird ein in B befindlicher Beobachter denselben Stern nicht in seinem Zenith in der Richtung von BF erblicken, sondern in irgend einer anderen Richtung BE. Da nun AD und BE die Richtungen sind, in welchen der Stern von A und B aus gesehen wird, so müssen sie sich erst in dem gesehenen Sterne selbst treffen. Dieser Stern liegt aber (wie alle Sterne, wenigstens die Fixsterne) in einer so großen Entfernung von der Erde, daß man einen für unsere Maße ganz unschätzbar geringen Fehler begeht, wenn man annimmt, daß die beiden Linien AD und BE einander parallel laufen. Ist dieses aber der Fall, so lehrt die Geometrie, daß der Winkel ACB = W. EBF ist. Nun kann man den Winkel EBF ausmessen, weil die Richtung von FB als die lothrechte Linie im Orte D bekannt ist und eben so die Richtung EB dadurch gegeben ist, daß man ein Fernrohr, durch welches man von B aus jenen Stern beobachten will, in diese Richtung stellen muß. Hierdurch ist nun auch der Winkel bei C und damit, wenn der Meridian ABLM ein wirklicher Kreis ist, die Größe des Bogens AB in Graden gegeben. Mißt man nun auf der Erdoberfläche selbst die Entfernung des Punktes A von dem Punkte B nach einem bekannten Längenmaße z. B. nach Meilen oder Toisen, so weiß man hiernach, wie viele Meilen auf eine bestimmte Anzahl Grade eines Erdmeridians kommen, also auch, wie viele Meilen oder Toisen Ein Grad des Erdmeridians hat. Man weiß ferner, wie groß der Umfang der ganzen Erdkugel ist; denn dieser ist mit dem Meridiane selbst gegeben; ferner, wie groß der Halbmesser der Erde ist, da dieser ein bekanntes Verhältniß zum Umfange des Meridianes hat; endlich, wie groß die Oberfläche und wie groß der cubische Inhalt der Erde ist, immer unter der Voraussetzung, daß die Erde wirklich eine Kugel sei. Ist diese Voraussetzung richtig, so müssen die Resultate aus den in angegebener Art angestellten Beobachtungen, welche zwei unter dem Meridian gelegene Orte man auch dazu wählen mag, immer dieselben sein, und nur aus Beobachtungsfehlern erklärliche Abweichungen der Resultate von einander wären möglich.

Die Resultate der verschiedenen Beobachtungen, die unter verschiedenen Breiten angestellt worden sind, sind nun aber keineswegs immer übereinstimmend, vielmehr hat man gefunden, daß, wenn man in angegebener Weise aus den Beobachtungen von zwei unter demselben Meridian gelegenen Punkten den Halbmesser der Erde berechnet, verschiedene Resultate herauskommen. Die auf die angegebene Weise gefundenen Halbmesser nehmen vom Aequator bis zu den Polen beständig

Digitized by Google

zu, und hieraus folgt, daß die Erde keine wirkliche Kugel sei, sondern unter dem Aequator nach der Richtung des Meridians stärker als unter den Polen gekrümmt sei und der Durchmesser des Aequators der Erde größer als die Axe derselben sei. Bohnenberger beweist dieses auf elementare Weise wie folgt. ap sei ein Quadrant des Erdmeridians, (Fig. 113.) a ein Punkt des Aequators, und es seien die Bogen ab, bd, de, ep desselben gemessen: so werden die Richtungen af, bf, dg, eh, pk der Schwere auf den an die Punkte a, b, d, e, p dieser Bogen gezogenen Tangenten senkrecht sein. Aus dem Bogen ab ergebe sich der Halbmesser af, aus dem Bogen bd ein größerer Halbmesser bg, und g sei der Mittelpunkt des als kreisförmig angenommenen Bogens bd, welcher auf der Verlängerung von bf liegen wird, weil vermöge der Voraussetzung ab und bd in b eine gemeinschaftliche Tangente haben. Eben so seien dh oder he, ek oder pk die aus den Bogen de, ep gefundenen Halbmesser, pk > he, und h, k die Mittelpunkte der Bogen de, ep. Die Verlängerung von af schneide die dg, he, pk in den Punkten l, m, c. Nun ist

$$\begin{aligned} fg &< fl + lg \\ \text{mithin } fg + gh &< fl + lh \\ \text{und um so mehr} &< fl + lm + mh \\ fg + gh + hk &< fl + lm + mk \\ \text{um so mehr} &< fl + lm + mc + ck \\ \text{oder } fg + gh + hk &< fc + ck \end{aligned}$$

Es ist aber

$$pk = ek = \begin{Bmatrix} eh \\ dh \end{Bmatrix} + hk = \begin{Bmatrix} dg \\ bg \end{Bmatrix} + gh + hk = \begin{Bmatrix} bf \\ af \end{Bmatrix} + fg + gh + hk$$

folglich ist $\left.\begin{matrix} pk \\ pc + ck \end{matrix}\right\} < af + fc + ck$

und $pc < ac$

Wird nun c als der Mittelpunkt der Erde und also auch als der Mittelpunkt aller Meridiane angenommen, so muß die Entfernung des Poles cp oder cp′ von dem Mittelpunkte geringer sein als die Entfernung jedes Punktes a des Aequators von c, kleiner als ca, und man bekommt eine mit den gemachten Beobachtungen übereinstimmende Vorstellung der Erde, wenn man dieselbe als einen Körper sich vorstellt, welcher entsteht, wenn man eine Ellipse apa′p′ (Fig. 113.) um ihre kleine Axe pp′ herumbewegt. Dann ist pp′ die Axe der Erde, p, p′ sind ihre Pole; aa′ ist der Durchmesser des Aequators, welcher durch den Punkt a beschrieben wird; in jeder Lage, welche apa′p′ bei der genannten Umdrehung um pp′ annimmt, gibt die Ellipse einen Meridian der Erde und jeder Punkt in dieser Linie b, d, e u. s. w. beschreibt bei der Umdrehung einen Parallelkreis. Einen so durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstandenen Körper nennt man ein elliptisches Sphäroid oder ein Revolutions-Ellipsoid; und ein solcher Körper also wäre die Erde.

Es ist oben gezeigt worden, daß (Fig. 113.) pk = af + fg + gh + hk; so wird, wenn man sich in dem Punkte k das eine Ende eines Fadens, dessen Länge = pk, befestigt, und diesen auf die

Digitized by Google

gebrochene Linie fghk aufgewickelt denkt, sein nach der Richtung fa ausgespanntes Stück mit seinem Ende in den Punkt a treffen. Wird nun dieser Faden, indem man ihn beständig gespannt erhält, nach und nach von der gebrochenen Linie fghk abgewickelt; so wird sein bewegliches Ende zuerst den Kreisbogen ab, hernach den Kreisbogen bd, sodann den Kreisbogen de u. s. w. beschreiben, weil von a bis b der abgewickelte Theil des Fadens = af, von b bis d = fg, von d bis e = dh u. s. w. ist. Man lasse die gebrochene Linie fghk in eine stetig krumme Linie übergehen, welche die Linien ac und pk berühre; so werden sich die Halbmesser der Kreisbogen stetig ändern, und es wird nun durch das Ende des Fadens eine stetig krumme Linie beschrieben werden, von welcher kein Theil mit einem Kreisbogen genau zusammenfällt, welche aber in jedem ihrer Punkte der Krümmung desjenigen Kreises am nächsten kommen wird, dessen Mittelpunkt in den von dem Faden berührten Punkt der krummen Linie fällt, von welcher der Faden abgewickelt wird, und dessen Halbmesser dem abgewickelten Theile des Fadens, oder der zwischen jenem Berührungspunkt und dem Erdmeridiane liegenden geraden Linie gleich ist. Dieser Kreis heißt der Krümmungskreis der krummen Linien, sein Halbmesser heißt der Krümmungshalbmesser, welchem die verschiedenen gefundenen Halbmesser desto näher kommen werden, je kleiner die Bogen des Erdmeridianes sind, aus welchen man sie berechnet.

Was nun die wirklich angestellten Beobachtungen selbst betrifft, aus denen die Größe und Gestalt der Ellipse berechnet worden ist, welche man sich um ihre kleine Axe beschrieben denken muß, um den Erdkörper zu erhalten, so sind schon von griechischen Gelehrten Gradmessungen angestellt worden, so wie später von arabischen, doch sind diese Messungen nicht zu gebrauchen, theils wegen ihrer Ungenauigkeit, theils, weil sie sich auf Maße beziehen, deren Größe und Verhältniß zu denen bei uns gebräuchlichen Maßen wir nicht genau kennen. In neuerer Zeit hat man eine große Menge von Gradmessungen angestellt, aber auch unter diesen gibt es mehre, welche wegen ihrer Ungenauigkeit nicht zu brauchen sind. Die oben allgemein angegebene Methode ist bei diesen Gradmessungen befolgt worden und dieselbe wurde zuerst im Anfange des 17. Jahrhunderts von Willibrod Snellius anempfohlen, indem derselbe näher eine bequeme Art angab, nach welcher die Messung der Entfernung der Beobachtungsorte auf der Oberfläche der Erde vorzunehmen sei. Schon vor Snellius maß im Jahre 1525 Fernel einen Grad zwischen Paris und Amiens durch die Zahl der Umdrehung eines Wagenrades und fand dabei die Länge des Grades gleich 57070 Toisen, welches Resultat mit spätern genauern Beobachtungen so nahe übereinstimmt, daß man bei der Ungenauigkeit der von Fernel angewandten Methode die Auffindung desselben nur einen Zufall nennen kann.

Die von Snellius angewandte Methode, das zwischen zwei Beobachtungsorten liegende Stück eines Erdmeridians zu messen, gibt Bohnenberger, wie folgt, an. Es werden die in der Nähe des zu messenden Bogens liegenden sich auszeichnenden oder durch besondere

Digitized by Google

Signale in der Ferne sichtbar gemachten Punkte durch eine Reihe von Dreiecken so mit einander verbunden, daß jedes dieser Dreiecke mit dem nachfolgenden eine Seite gemeinschaftlich hat, alsdann wird man nur eine Seite dieser Dreiecke und ihre Winkel zu messen haben, um die Seiten der übrigen Dreiecke berechnen zu können. Mißt man ferner den Winkel, welchen eine der Seiten dieser Dreiecke mit dem Meridian macht, so wird man mittelst der bekannten Seiten der Dreiecke und dieses Winkels die Länge des zu messenden Bogens des Meridians durch Rechnung herleiten können. Es sei nämlich AM (Fig. 114.) ein Bogen eines Meridians der Erde, A, B, C, D, u. s. w. seien auf diesem Meridian oder in seiner Nähe liegende Punkte, welche durch die graden Linien AB, BC, AC u. s. w. mit einander verbunden seien und eine Reihe an einander hängender Dreiecke bilden. Man messe eine Seite BC dieser Dreiecke und die Winkel so wohl des Dreiecks ABC als aller übrigen: so findet man aus der Basis BC und den Winkeln die Seiten AB, AC. Eben so in dem Dreieck BCD aus der Seite BC die Seiten BD, CD. In dem anliegenden Dreieck CDE kennt man wiederum eine Seite CD und die Winkel, woraus sich die Seiten DE und EC ergeben. Endlich findet man in dem Dreieck EDF aus der nun bekannten Seite DE und den Winkeln die Seiten DF und FE. Mithin werden die graden Linien, aus welchen die gebrochene Linie ACEF zusammengesetzt ist, und die Winkel ACE, CEF, welche sie mit einander machen, durch die gemessenen Winkel der Dreiecke gegeben sein. Man beobachte noch den Winkel CAM, welchen die Seite CA mit der an dem Ort A gezogenen Mittagslinie AM macht, fälle von C, E und F die Perpendikel Cc, Ee, Ff auf AM und ziehe durch die Punkte C und E die Parallelen Cg, Eh mit AM, welche den wo nöthig verlängerten Perpendikeln Ee, Ff in g und h begegnen. Da man in dem bei c rechtwinkligen Dreieck ACc den Winkel CAc und seine Hypotenuse AC kennt, so kann man die Seite Ac finden. Nun macht der Winkel gCA mit dem gegebenen CAM zwei rechte Winkel, und der Winkel ACE ist durch die Winkel der Dreiecke gegeben; folglich kennt man ihren Unterschied gCE. Man kann also die Seite Cg oder die ihr gleiche ce durch die Auflösung des bei g rechtwinkligen Dreiecks CEg finden. Endlich ist der Winkel CEh = 2R — gCE, und der Winkel CEF ist gegeben; folglich kennt man den Winkel FEh des rechtwinkligen Dreiecks FEh, dessen Hypotenuse ebenfalls gegeben ist, und kann daher hE oder die ihr gleiche ef finden. Aus diesen Stücken des zu messenden Bogens ergibt sich nun der Bogen Af = Ac + + ce + ef, und die Messung kann auf ähnliche Art weiter fortgesetzt werden, wobei man nichts als Winkel von Dreiecken zu messen hat.

Snellius selbst maß nach seiner Methode im Jahre 1615 zwischen Alcmar und Bergen op Zoom einen Bogen von 1° 11′ 30″ und fand einen Grad = 55021 Toisen, eine ungenaue Angabe, welche er selbst aber später dahin berichtigt haben soll, daß die Größe eines Grades = 57033

Toiſen ſei. Die erſte genauere Meſſung nach der von Snellius angegebenen Methode ſtellte im J. 1669 Picard an, indem er einen Grad des durch die Pariſer Sternwarte gezogenen Meridians zwiſchen Paris und Amiens = 57057 Toiſen fand. Die beiden Caſſini und Maraldi wiederholten im J. 1683, 1700 und 1718 dieſe Meſſungen und ſetzten dieſelben durch ganz Frankreich fort, woraus ſich die Entfernung von der Sternwarte zu Paris bis an den Parallelkreis von Collioure an der ſpaniſchen Grenze = 360614 Toiſen, der Unterſchied der Polhöhen (der gemeſſene Bogen) = 6° 18′ 57″ und die Länge eines Grades = 57097 Toiſen ergab. Man fand ferner, daß Dünkirchen um 125454 Toiſen nördlicher als die Pariſer Sternwarte liege, daß der Unterſchied der Polhöhen = 2° 12′ 9″, 5 und die Größe eines Grades = 56960 ſei. Nach dieſen Beobachtungen wäre alſo ein nördlich gelegener Grad des Meridianes kleiner als ein ſüdlich gelegener deſſelben und es müßte folglich die Erde nicht nach den Polen ſondern nach dem Aequator zu abgeplattet ſein. Es iſt ſpäter aber von Caſſini de Thury und Lacaille nachgewieſen worden, daß jene Beobachtungen mit Fehlern behaftet waren. Newton ſchloß indeß aus theoretiſchen Gründen, daß die Erde nothwendig an den Polen abgeplattet ſein müſſe. Um die Frage zur Entſcheidung zu bringen, welche Art der Abplattung der Erde wirklich ſtattfinde, war es nöthig, gleichgenaue Meſſungen in der Nähe des Aequators und in der Nähe der Pole anzuſtellen. Daher bewog Maurepas den Cardinal Fleury und den König von Frankreich im J. 1735 die beiden Geometer Bouguer und Condamine in Begleitung ausgezeichneter Gehülfen (Couplet, Godin, Juſſieu u. a.) und vortrefflicher Inſtrumente nach dem Aequator zu ſchicken. Sie wurden begleitet von den Spaniern Antonio de Ulloa und George Juan. Dieſe Männer nahmen Beobachtungen in der Gegend von Peru vor. Bei ihren Meſſungen legten ſie als Normalmaß die noch jetzt in Paris aufbewahrte und zu Vergleichung der verſchiedenen Maße noch jetzt gebrauchte eiſerne Toiſe von Peru bei einer Temperatur von + 13° Reaumur zu Grunde. Während der Zeit wurden Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, Outhier im J. 1736 nach Schweden geſchickt und maßen dort in Verbindung mit Celſius von Torneå unter 65° 51′ bis zum Berge Kittis unter 66° 48′ 30″ einen Bogen von 57′ 28″, 5 und beſtimmten die Größe eines Grades = 57437 Toiſen. Bouguer fand die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56753 Toiſen. Aus der Vergleichung beider Reſultate ergibt ſich, daß die Grade unter dem Aequator kleiner ſind, als die Grade in der Nähe der Pole, daß alſo die Erde in der Gegend des Aequators ſtärker gekrümmt iſt als in der Gegend der Pole oder daß dieſelbe an den Polen abgeplattet iſt.

Fernere Breitengradmeſſungen ſind vorgenommen worden im J. 1750 von Lacaille, wonach unter 38° 18′ 30″ S. B. die Länge eines Grades = 57037 Toiſen iſt; von le Maire und Boscovich (1751—53), wonach unter 43° N. B. ein Grad = 56973 Toiſen iſt; von Beccaria (1768) unter 44° 44′ N. B., wonach ein

Digitized by Google

Grad = 57024 Toiſen; von Liesganig, wonach unter 48° 43′ N. B. ein Grad = 57086 Toiſen und unter 45° 57′ N. B. ein Grad = 56881 Toiſen*). Maſon und Dixon haben im J. 1764 genaue Beobachtungen in den Ebenen von Penſylvanien angeſtellt und unter 39° 11′ 56″,2 NB. die Länge eines Grades = 56888 Toiſen gefunden. Burrow (1790) fand unter 23°, 18′ N. B. einen Breitengrad = 56725,3 Toiſen, einen Längengrad = 52534,8 Toiſen. Bei weitem genauer ſind die im gegenwärtigen Jahrh. angeſtellten Beobachtungen wegen der dabei beobachteten großen Genauigkeit. Swanberg und Ofverbom fanden in den J. 1801—3 unter dem Polarkreiſe die Länge eines Grades = 57209,28 Toiſen. Mudge fand die Länge eines Grades unter 51° 2′ 54″ = 57127,65 Toiſen und unter 52° 50′ 29″, 8 = 57017, 06 Toiſen. Lambton nahm 1802 in Oſtindien Meſſungen vor und fand nach genauen Correctionen die Länge eines Grades unter 9° 34′ 44″ N. B. = 56746, 50, unter 13° 2′ 55″ N. B. = 56757, 63, unter 16° 34′ 42″ = 56777, 63.

Noch ausgedehnter ſind diejenigen Meſſungen geweſen, welche in Frankreich angeſtellt worden ſind, um aus der Meſſung eines Meridianes durch ganz Frankreich die Länge eines ganzen Quadranten (ein Viertheil des ganzen Meridianes alſo 90°) zu berechnen, um ein Zehnmilliontheil deſſelben als Normalmaß für die franz. Republik unter dem Namen Meter zu erhalten. Bei dieſen Meſſungen wurde ebenfalls die Toiſe von Peru zum Grunde gelegt und die Meſſung ſelbſt vorgenommen mit vier ſorgfältig gearbeiteten Platinſtangen, mit einer parallel aufliegenden Stange von Kupfer, damit man aus der ungleichen Ausdehnung dieſer Metalle die Temperatur und zugleich die abſolute Ausdehnung der ganzen Stange finden könne**). Die Ausführung der ganzen Beobachtung wurde für den ſüdlichen Bogen von Rodez bis Barcellona Mechain übertragen. Die Meſſung des nördlichen Bogens von Rodez bis Dünkirchen Delambre. Die äußerſten Punkte des ganzen gemeſſenen Bogens waren Dünkirchen unter 51° 2′ 10″,5 und der Thurm von Montjouy bei Barcellona unter 41° 21′ 44″,8, ſo daß alſo die Länge des ganzen Bogens 9° 40′ 25″,7 betrug; dieſelbe wurde = 1275792,36 Meter gefunden. Die Mitte dieſes Bogens fiel auf 49° 11′ 58″, um dieſelbe aber genau unter 45° als der Mitte des Quadranten zu bringen, wünſchte Mechain die Meſſung bis nach den baleariſchen Inſeln auszudehnen. Da Mechain ſtarb, ſo übertrug das Nationalinſtitut die Ausführung dieſer Meſſung Biot und Arago. Um bei der Meſſung Signale zu haben, wurden auf den Bergſpitzen Lampen vor große Reverberen geſtellt, welche des Nachts von den verſchiedenen Beobachtungspunkten aus mit Hilfe von Fernröhren wie kleine Fixſterne wahrgenommen wurden.

*) Dieſe zuletzt angeführten Reſultate ſind ſämmtlich mehr oder weniger mit Unrichtigkeiten behaftet.

**) Vergl. d. Art. Ausdehnung und Compenſation.

Digitized by Google

Wenn man nach dem ganzen gemessenen Bogen den nördlichen Quadranten der Erde berechnet, so findet man ein Zehnmilliontheil desselben = 0,5131111 Toisen oder 443,328 Linien. Zu Bestimmung der Größe des Meters wurde aber die Beendigung der Messung nicht abgewartet, sondern aus der Messung des Bogens bis Montjouy wurde der Quadrant = 5130738,62 Toisen und das Meter = 443,296 parif. Linien der Toise von Peru bei 16°,75 C. Temperatur.

Aus den angegebenen Beobachtungen hat man sich nun bemüht, die Größe der Abplattung der Erde zu finden. Dieses geschieht, indem man den Unterschied beider Axen berechnet und die große Axe = 1 annimmt. Je nachdem man die einen oder die anderen Beobachtungen zu Grunde gelegt hat, ist man bei dieser Berechnung auf sehr verschiedene Resultate gekommen. So fand La Place aus den Beobachtungen in Peru, auf dem Cap, in Pensylvanien, Italien, Frankreich und Oestreich die Abplattung = $\frac{1}{313}$*); die große französische Gradmessung für sich gab eine Abplattung von $\frac{1}{150,6}$. Aus der peruanischen und dem ersten Theile der großen französischen Gradmessung fand Puissant eine Abplattung = $\frac{1}{314}$. Nach einer Revision dieser beiden Messungen erhielt Delambre die Abplattung = $\frac{1}{308,6}$ und Puissant = $\frac{1}{309,6}$. Le Gendre fand aus Vergleichung des Grades in Peru und des in Frankreich von Dünkirchen bis Paris gemessenen die Abplattung = $\frac{1}{307}$. v. Lindenau berechnete aus der peruanischen, den beiden ostindischen von Burrow, der älteren von Lambton, aus denen in Pensylvanien, Italien, Frankreich, Oestreich und Lappland eine Abplattung = $\frac{1}{304}$. Bohnenberger fand nach einer von ihm berechneten Formel aus dem Grade unter dem Aequator und dem unter den Polarkreisen die Abplattung = $\frac{1}{329,6}$.

Indem ich andere Bestimmungen übergehe, führe ich nur noch diejenige an, welche Muncke aus Vergleich der möglichst berichtigten Beobachtungen der zuverlässigsten Messungen gibt, nämlich der peruanischen von Bouguer und Condamine, der drei ostindischen von Lambton, der französischen von Delambre, Mechain, Biot und Arago, der englischen von Mudge, der lappländischen von Swanberg und Ofverdom. Die Resultate dieser Messungen sind folgende:

---

*) D. h. wenn der Halbmesser des Aequators = a, der Halbmesser der Axe = b ist, so ist $\frac{a-b}{b} = \frac{1}{312}$; folglich a — b : b = 1 : 312; folglich a : b = 313 : 312, d. h. wenn man sich den Halbmesser des Aequators in 313 gleiche Theile zerlegt denkt, so ist die halbe Axe der Erde um einen solchen Theil kleiner als der Halbmesser des Aequators.

Digitized by Google

Beobachter.	Nördliche Breiten.	Länge eines Grades.
Bouguer u. Condamine	0° 0′ 0″	56731,70 Toiſen.
Lambton..... a)	9° 34 44	56746,50 —
— ..... b)	13 2 55	56757,63 —
— ..... c)	16 34 42	56777,63 —
Delambre, Mechain Biot, Arago	44 51 3	57006,14 —
Mudge.....	52 2 20	57070,00 —
Swanberg u. Ofverbom	66 20 12	57209,00 —

Dieſe Beſtimmungen mit einander verglichen geben für die Abplattung folgende Werthe:

Verglichene Grade.	Unterſchied der großen und kleinen Axe.	Abplattung.
Peruaniſche und Oſtindiſche..... a)	0,00313954	$\frac{1}{318,5}$
— — — ..... b)	0,00298740	$\frac{1}{334,7}$
— — — ..... c)	0,00331220	$\frac{1}{301,9}$
— — Franzöſiſche.....	0,00322630	$\frac{1}{309,9}$
— — Engliſche.....	0,00317870	$\frac{1}{314,6}$
— — Lappländiſche	0,00331506	$\frac{1}{301,6}$
Oſtindiſche a) u. Franzöſiſche	0,00323140	$\frac{1}{309,4}$
— — Engliſche.....	0,00318080	$\frac{1}{314,3}$
— — Lappländiſche	0,00332100	$\frac{1}{301,1}$
Oſtindiſche b) u. Franzöſiſche	0,00325350	$\frac{1}{307,3}$
— — Engliſche.....	0,00319568	$\frac{1}{312,9}$
— — Lappländiſche	0,00333607	$\frac{1}{299,7}$
Oſtindiſche c) u. Franzöſiſche	0,00320962	$\frac{1}{311,5}$
— — Engliſche.....	0,00315870	$\frac{1}{316,3}$
— — Lappländiſche	0,00331536	$\frac{1}{301,6}$
Franzöſiſche und Engliſche.....	0,00298895	$\frac{1}{334,5}$
— — Lappländiſche	0,00344330	$\frac{1}{290,4}$
Engliſche und Lappländiſche	0,00370154	$\frac{1}{270,1}$
Mittel.....	0,00324973	$\frac{1}{307,7}$

Digitized by Google

Besonders bemerkenswerth ist es, daß die beiden genauesten Messungen nämlich die Französische und die Lappländische die Abplattung der Erde $= \frac{1}{290,4}$ geben, da die neuesten Pendelversuche eine dieser gleiche Bestimmung geben. (s. d. F.)

Höchst merkwürdig ist ferner das Resultat, welches ein Vergleich der in England angestellten Messungen unter einander gibt, indem sich daraus die Abplattung der Erde $= \frac{1}{\gamma}$ ergibt. Auch durch die allerneuesten von Schumacher in Holstein, Struve in Liefland und Gauß im Herzogth. Lüneburg angestellten Beobachtungen haben wir so abweichende Resultate erhalten, daß, wenn auch Lindenau's Meinung nicht richtig sein sollte, daß Gradmessungen überhaupt zu Bestimmung der Gestalt der Erde nicht geeignet seien, doch so viel mit Gewißheit anzunehmen ist, daß das Erdsphäroid (wie Gauß meint) im Ganzen größere und kleinere Abweichungen von einer regelmäßigen Form und Dichtigkeit darbietet, welche einander gegenseitig bedingen ohne die Regelmäßigkeit der Form im Ganzen aufzuheben.

Wie man, um die Form der Erde zu bestimmen, Messungen der Grade des Meridians in verschiedenen Breiten vorgenommen hat, so kann man auch die Länge der Grade der verschiedenen Parallelkreise nach ihrem Abstande vom Aequator messen und daraus einen Schluß auf die Gestalt der Erde machen. Betrachtet man nämlich (Fig. 113.) apa'p' als diejenige Ellipse, durch deren Umdrehung um pp' das Erdsphäroid beschrieben wird, so werden, wie schon oben gesagt, durch die Punkte in dem Umfange der Ellipse d, e u. s. w. die Parallelkreise beschrieben. Steht md und m'e senkrecht auf pc, so sind m und m' die Mittelpunkte, md und m'e die Halbmesser dieser Parallelkreise, und es ist leicht einzusehen, daß diese Halbmesser, also auch die Umfänge der durch sie beschriebenen Kreise sowie die einzelnen Grade dieser Kreise kleiner werden müssen, je weiter dieselben vom Aequator (welcher durch a beschrieben wird) abstehen. Also z. B. daß m'c < md. Wäre die Erde eine wirkliche Kugel, so könnte man sich dieselbe durch Umdrehung des Kreises asa's' entstanden denken und dann würden q und q' die den Mittelpunkten m und m' entsprechenden Parallelkreise beschreiben. Schon die Figur zeigt, daß der durch qm beschriebene Kreis größer sein müsse als der durch dm beschriebene, sowie daß der durch q'm' beschriebene größer als der durch em' beschriebene sein müsse, und daß man aus der Art und Weise wie die Größe der Grade der Parallelkreise nach dem Pole zu abnimmt, auf die Gestalt der Erde schließen könne; denn offenbar nimmt die Größe der Parallelkreise desto langsamer ab, je mehr die Gestalt der Erde einer Kugel sich nähert, desto schneller, je mehr nach den Polen zu abgeflacht die Erde ist.

Man hat indessen bei weitem wenigere Messungen von Längengraden als Breitengradmessungen angestellt, indem die Operationen bei jenen noch schwieriger als bei diesen sind auch noch weniger leicht eine befriedigende Genauigkeit zu erreichen ist. Doch sprechen fast alle Län-

Digitized by Google

gengradmessungen wenigstens im Allgemeinen für die Abplattung der Erde nach den Polen zu.

Zu den durch Genauigkeit ausgezeichneten Messungen gehört die Längengradmessung, welche Brousseau, Nicollet und Pictet auf dem Parallelkreise von Marennes bis Genf unter 45° 43′ 12″ ausgeführt, und die Plana und Carlini bis Padua fortgesetzt haben. Der erste gemessene Bogen hat eine Länge von 565052,5 Meter, und gibt die Größe eines Längengrades = 77867,25 Meter (39952,66 Toisen), mit dem Meridianbogen zwischen Greenwich und Formentera verglichen aber die Abplattung = $\frac{1}{271,31}$. Der ganze bis zum Meridian von Mailand verlängerte Bogen dagegen gibt die Größe eines Längengrades = 77862,66 Meter (39949,33 Toisen) und eine Abplattung = $\frac{1}{275,68}$; bis Padua ausgedehnt erhält man endlich den Längengrad = 77847 Meter (39941,27 Toisen) und $\frac{1}{252}$ als Abplattung. Muncke macht darauf aufmerksam, wie auch aus dieser Messung (bei der Verschiedenheit der angeführten Resultate) hervorgehe, daß die Erde nicht regelmäßig gekrümmt sei, sondern örtliche Abweichungen von einer überall gleichmäßigen Gestalt darbiete.

Eine ganz andere Art, die Gestalt der Erde zu bestimmen, ergab sich aus der zuerst von Picard ausgesprochenen Thatsache, daß die Pendel unter niederen Breiten verkürzt werden müssen, um in gleichen Zeiten zu schwingen als in höheren. Der Grund der Pendelschwingungen ist nämlich die Schwere oder die Anziehung, welche die Erde gegen einen Körper ausübt. Die Wirkung der ganzen Erde gegen einen an einem Faden aufgehangenen schweren Körper ist die, daß sie demselben eine bestimmte Richtung (die der lothrechten Linie) gegen sich gibt. Bringt man den aufgehängten Körper aus dieser Richtung heraus, so geht derselbe durch mehre Schwingungen wieder in dieselbe zurück. Wenn nun die Erde aller Orten eine gleiche Anziehung gegen den schweren Körper ausübte, so müßte ein solcher überall mit gleicher Geschwindigkeit fallen, oder da die Schwingungen eines an einem Faden aufgehangenen schweren Körpers von den Gesetzen des Fallens abhängen, so müßten die Zeiten, in welcher eine Schwingung zurückgelegt wird, überall gleich sein oder, was dasselbe, es müßten in gleichen Zeiten gleich viele Schwingungen gemacht werden. Da ferner gleichlange Pendel an demselben Orte aufgehangen in gleichen Zeiten gleichviele Schwingungen machen, so müßten an allen verschiedenen Orten der Erde alle Pendel, welche in einer gewissen Zeit eine Schwingung machen, gleichlang sein. Dieses würde der Fall sein, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre; wenn sie aber, wie wir annehmen müssen, eine elliptischsphäroidische Gestalt hat, so muß die Anziehung am Aequator am geringsten, unter den Polen aber am größten sein, oder, was dasselbe, alle Körper müssen nach den Polen hin an Schwere zunehmen, die Zahl der Schwingungen eines Pendels muß zunehmen, oder zu Erreichung einer gleichen Zahl von Schwingungen in derselben Zeit müssen die Pendel je weiter nach den Polen zu desto mehr verlängert werden.

Digitized by Google

Umgekehrt wird man also auch aus der nöthigen Verlängerung der Pendel auf die Gestalt der Erde schließen können.

Da es erwiesen ist, daß die Grade der Meridiane wie die Würfel der Pendellängen sich verhalten, so läßt sich, wenn die Pendellängen an verschiedenen Orten genau beobachtet sind, wie man sieht, leicht ein Schluß auf die Größe der Meridiangrade machen, und wie vorhin aus der Größe der Meridiangrade läßt sich aus den gemessenen Pendellängen die Abplattung der Erde berechnen. Doch sind diese Bestimmungen keineswegs so leicht als es auf den ersten Anblick den Anschein haben kann. Sie wären es nur dann, wenn die Erde ein Körper von durchgängig gleicher Dichtigkeit wäre und wenn man die Beobachtungen an mathematischen Pendeln, welche in luftleerem Raume ihre Schwingungen machten, vornehmen könnte. Da es aber bekanntlich ein mathematisches Pendel nicht gibt (s. d. Art. Pendel), auch die Erde nicht von durchgängig gleichmäßiger Dichte ist*), so muß man, um aus der Beobachtung des physischen Pendels nur einigermaßen genaue mathematische Bestimmungen erhalten zu können, eine Menge von Correctionen anbringen, welche namentlich bei der Kleinheit der gemessenen Größen immer nur sehr wenig genaue Resultate geben können. Abgesehen von den nöthigen Correctionen würde der directe Weg dieser Pendelbeobachtungen der sein, daß man an jedem der gewählten Beobachtungsorte ein genaues Secundenpendel herstellte und dann die absolute Länge eines solchen Pendels mäße. So wohl die Herstellung eines solchen Pendels als auch die scharfe Messung der Länge desselben ist aber mit sehr großen Schwierigkeiten verknüpft; es ist daher leichter und gewährt eine größere Genauigkeit, wenn man nur für einen bestimmten Ort die absolute Länge des Secundenpendels mit größtmöglicher Genauigkeit fest setzt, und dann für die übrigen Beobachtungsorte aus den Schwingungen die Pendellängen beobachtet. Man weiß nämlich, daß wenn von zwei Pendeln l und l', das eine in einer gewissen Zeit n Schwingungen und das andere in derselben Zeit m Schwingungen macht, dann sich verhält: $l : l' = m^2 : n^2$, woraus folgt, daß $l' = l \frac{n^2}{m^2}$. Weiß man also, wie viele Schwingungen z. B. n ein Secundenpendel l unter dem Aequator macht und hat beobachtet wie viele Schwingungen z. B. m dasselbe Pendel unter einer bekannten Breite p macht, so weiß man, daß die Länge eines Secundenpendels unter der Breite p, nämlich $l' = l \frac{n^2}{m^2}$ sein müßte. Es ist also nur noch Sache der Beobachtung, die Anzahl von Schwingungen, welche ein seiner Länge nach genau bekanntes Pendel in einer bestimmten Zeit an einem seiner geographischen Lage nach genau bekannten Orte macht, zu zählen.

*) Sabine hat gefunden, daß nicht sowohl die tiefer liegenden als vielmehr die am oberflächlichst liegenden Schichten der Erde von störendem Einflusse auf die Pendelbeobachtungen sind.

Digitized by Google

Die meisten und genauesten Pendelbeobachtungen sind von den Franzosen und Engländern angestellt worden. Aus den älteren Beobachtungen hat La Place die Abplattung der Erde $= \frac{1}{335,78}$ berechnet, eine Angabe, welche wegen der Ungenauigkeit der älteren Pendelmessungen nicht zuverlässig ist. In den Jahren 1807—17 stellten Biot, Arago, Chair, Mathieu und Bouvard an den Hauptorten des durch ganz Frankreich gemessenen Meridians Pendelbeobachtungen an, und Biot setzte dieselben durch England bis zur Insel Unst fort. Von England aus wurden seit 1816 unter Kater Beobachtungen angestellt und Sabine stellte sowohl unter dem Aequator als an den Küsten von Norwegen, Grönland und Spitzbergen Pendelbeobachtungen an. Namentlich um zu untersuchen, ob die südliche Hälfte der Erde eine andere Gestalt als die nördliche habe, wurden Freycinet und Duperrey beauftragt, an verschiedenen Orten der südlichen Halbkugel Pendelbeobachtungen anzustellen.

Folgende Tabelle enthält einige der vorzüglichsten Pendelmessungen unter verschiedenen Breiten:

Ort.	Beobachter.	Breite.	Länge des Secunden-pendels in Par. Linien.
Melleville Cap	Sabine	74° 47′	441,41
Ponoi	Mallet	67 5	441,21
Pello	Maupertuis	66 48	441,16
Brassa (Shettld.)	Sabine	60 10	441,00
Petersburg	Mallet	59 56	441,00
London	Graham und Kater	51 31	440,64
Paris	Borda	48 50	440,56
Cap d. gut. Hoffg.	Lacaille	33 55	440,13
Jamaica	Campbell	18 0	439,44
Portobello	Bouguer	9 34	439,30
Peru	Bouguer	0 0	439,21

Wenn man aus den vielen verschiedenen Beobachtungen die Abplattung der Erde berechnet, so erhält man sehr von einander abweichende Resultate. Die älteren französischen Beobachtungen geben die Abplattung der Erde $= \frac{1}{292,89}$; Biot fand dieselbe $= \frac{1}{304}$; Kater aus seinen Beobachtungen in Großbritannien $= \frac{1}{305,32}$, wogegen aus den von London bis Melville von Sabine und Parry angestellten Beobachtungen eine Abplattung $= \frac{1}{117}$ sich ergibt. Bei weitem grö-

Digitized by Google

ßer iſt die Abplattung, welche aus Pendelmeſſungen von Freycinet unter niederen ſüdlichen und nördlichen Breiten ſich ergab, nämlich $= \frac{1}{276,6}$; und aus einer Zuſammenſtellung eigener und fremder Beobachtungen*) durch Sabine fand ſich die Abplattung $= \frac{1}{289,1}$.

In neuerer Zeit hat Biot auch in Italien und an der Dalmatiſchen Küſte Beobachtungen angeſtellt und aus dieſen ſo wie aus den genaueſten älteren Beobachtungen folgert derſelbe, daß die Annahme, daß die Geſtalt der Erde diejenige ſei, welche ſich aus der Umdrehung einer Ellipſe um ihre kleine Axe ergibt, keineswegs durch die Beobachtungen beſtätigt werde. Nach dieſen iſt die Erde kein regelmäßig gekrümmtes elliptiſches Sphäroid, die Meridiane ſind nicht unter einander gleiche regelmäßige Ellipſen und die Parallelkreiſe keine regelmäßigen Kreiſe, vielmehr muß man den Erdkörper als einen verſchiedentlich unregelmäßig gekrümmten Körper annehmen. Beſtimmt man indeß die Abplattung aus allen Pendelmeſſungen von 45° bis 90° NB., ſo findet ſich dieſelbe $= \frac{1}{306,33}$, aus den Pendelmeſſungen von 0° bis 45° NB. $= \frac{1}{276,38}$ und aus den Pendelmeſſungen von 0° bis 90°

*) Folgende Tabelle enthält dieſelben zuſammengeſtellt:

Oerter.	Breiten.	a. Beob. Pendel. = 39, +	Beobachter.	b Berechn. Pendel. = 39, +	Diff. a — b
St. Thomas	00° 24′ 41″	02074	Sabine	01520	+ 00554
Maranham	02 31 43	01214	—	01559	— 00345
Aſcenſion	07 55 48	02410	—	01905	+ 00505
Sierra Leone	08 29 28	01997	—	01961	+ 00036
Trinidad	10 38 56	01884	—	02211	— 00327
Bahia	12 59 21	02425	—	02543	— 00118
Jamaica	17 56 07	03510	—	03440	+ 00070
Formentera	38 39 56	09176	Biot	09422	— 00246
New-York	40 42 43	10168	Sabine	10133	+ 00035
Figeac	44 36 45	11212	Biot	11506	— 00294
Bordeaux	44 50 26	11295	—	11586	— 00291
Clermont	45 46 48	11612	—	11918	— 00306
Paris	48 50 14	12894	—	12994	— 00010
Shanklin	50 37 24	13606	Kater	13617	— 00011
Dünkirchen	51 02 10	13771	Biot	13760	+ 00011
London	51 31 08	13929	Kater	13926	+ 00003
Arbury-H.	52 12 55	14223	—	14165	+ 00058
Clifton	53 27 43	14593	—	14590	+ 00003
Leith	55 58 39	15547	—	15427	+ 00120
Portſoy	57 40 59	16161	—	15979	+ 00182
Unſt	60 45 26,5	17164	—	16934	+ 00230
Drontheim	63 25 54	17456	Sabine	17715	— 00259
Hammerfeſt	70 04 05	19519	—	19546	— 00027
Grönland	74 32 19	20335	—	20326	+ 00009
Spitzbergen	79 49 58	21469	—	21134	+ 00335

Digitized by Google

$= \frac{1}{290,59}$. Die Gestalt der südlichen Halbkugel scheint von der nördlichen nicht verschieden und die Schwere auf beiden gleich zu sein. Die mittlere Länge des Secundenpendels unter dem Aequator ist dann $= 991,027015$ und die Verlängerung desselben wegen der nach dem Pole zunehmenden Schwere $= 5,161948$ Millimeter.

Zu den genauesten Bestimmungen über die Abplattung der Erde gehören diejenigen, welche aus astronomischen Beobachtungen entnommen sind. Es sind nämlich von mehren Astronomen Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Mondes beobachtet worden, welche La Place von der abgeplatteten Gestalt der Erde ableitet. Hiernach berechnet La Place die Abplattung der Erde $= \frac{1}{305,05}$ und $\frac{1}{304,6}$. Andere Bestimmungen aus astronomischen Beobachtungen sind von v. Lindenau und von Le Gendre, nach dem ersten ist dieselbe $= \frac{1}{315,82}$, nach dem zweiten $= \frac{1}{318}$.

Nehmen wir einen im Weltraume schwebenden, in sich ruhenden Körper an, so wird derselbe die Kugelgestalt, wenn er dieselbe ursprünglich hatte, auch unverändert behalten und würde diese Gestalt von selbst annehmen, wenn er dieselbe vorher nicht hatte, aber flüssig war, wegen der allein bei der Kugelgestalt stattfindenden durchaus gleichmäßigen Anziehung aller Theile. Dreht sich aber der Körper um eine durch ihn gehende gerade Linie, so werden die von dieser Axe entfernteren Theile des Körpers eine größere Schwungkraft durch die Bewegung erhalten, als die näher gelegenen, und indem auf die Theile der Erde zugleich die Anziehungskraft wirkt (welche allein verhindert, daß die einzelnen Theile der Erde nicht vermöge der ihnen ertheilten Schwungkraft von der Erde abfliegen), so muß ein bewegter flüssiger Körper eine (wegen der örtlichen Verschiedenheit der Schwungkraft von der Kugelgestalt abweichende) durch Schwungkraft und Anziehungskraft bestimmte Gestalt annehmen, wenn er im Zustande der leichten Beweglichkeit seiner Theile sich befindet, d. h. wenn er flüssig ist. Um sich von dem Einflusse der Schwungkraft auf die Gestalt eines Körpers, dessen Theile beweglich sind, durch den Versuch zu überzeugen, stecke man einen elastischen Ring ABMN (Fig. 115.) auf einen Stift BD, der in der Ebene dieses Ringes durch den Mittelpunkt C desselben geht. Man drehe hierauf den Ring schnell um den Stift als um seine Axe, so werden während dieser Bewegung nur die zwei Punkte A und B, durch welche die Axe geht, oder die Pole des Ringes, in Ruhe bleiben, alle anderen Punkte desselben aber werden eine desto schnellere Bewegung annehmen, je weiter sie von jenen beiden Polen entfernt sind, oder je näher sie der Mitte MN, dem Aequator des Kreises kommen. Da mit der Zunahme der Bewegung auch die Schwungkraft wächst, so wird also auch diese von den Polen nach dem Aequator zu wachsen; und da der Kreis vorausgesetztermaßen elastisch ist, so werden alle Punkte des Umkreises desselben desto mehr von der Axe sich entfernen, je näher diese Punkte selbst dem Aequator MN sind, und der Anfangs kreisrunde Ring AMBN wird

jetzt eine elliptische, an seinen Polen A und B abgeplattete Gestalt A m B n annehmen.

Da die Betrachtung der Oberfläche der Erde so tief hinab wir dieselbe kennen, die Lagerungen der verschiedenen Erdschichten, das Vorkommen von versteinerten Seethieren in dem Inneren hoher Berge u. s. w. klar dafür sprechen, daß die Erde einstens lange vor dem Beginn der Geschichte in einem flüssigen Zustande gewesen sei, so läßt sich hieraus mit Gewißheit schließen, daß dieselbe vermöge ihrer Umdrehung eine abgeplattete Gestalt angenommen haben müsse; und Newton war der erste, welcher von solchen Betrachtungen, wie die oben angeführten, behauptete, daß die Erde gegen ihre Pole zu abgeplattet sein müsse. Unter der Voraussetzung einer durchgängig gleichmäßigen Dichtigkeit der Erde berechnete Newton die Abplattung derselben $= \frac{1}{230}$, ein Resultat, welches wie man sieht nicht mit den Beobachtungen übereinstimmt, dessen Unrichtigkeit aber lehrt, daß die gemachte Voraussetzung durchgängig gleichmäßiger Dichtigkeit unrichtig sei. Andere Mathematiker haben unter modificirten Voraussetzungen andere Resultate gefunden. Le Gendre und La Place und nachher Ivory setzten voraus, daß die Dichtigkeit der Erde vom Centrum aus gleichmäßig abnehme, und indem letzterer die Dichte des Erdkernes $= 5{,}48$, die der Oberfläche der Erde $= 2{,}88$ annahm, fand derselbe die Abplattung der Erde $= \frac{1}{289}$.

Aus der Verschiedenheit der Resultate bei Berechnung der Abplattung der Erde aus einer Menge von Beobachtungen, die von den ausgezeichnetsten Physikern und Astronomen mit größtmöglicher Genauigkeit angestellt worden, müssen wir entweder mit Biot folgern, daß die Gestalt der Erde bedeutend von der eines Revolutions-Ellipsoid's abweiche, oder wir müssen annehmen, daß ein bis jetzt noch nicht in Rechnung gebrachter örtlich verschiedener Umstand bei Anstellung der Beobachtungen von Einfluß sei. Ein solcher Umstand kann die an den verschiedenen Orten verschiedene Dichtigkeit der Erdrinde sein. Daß die Erde nicht durchgängig von gleicher Dichtigkeit sei, geht schon aus der von Newton angestellten Berechnung der Abplattung hervor, welche unter Voraussetzung gleichförmiger Dichte der Erde die Abplattung $= \frac{1}{230}$ gibt, welches mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt. Nehmen wir aber an, daß die Erde von örtlich verschiedener Dichte sei, so muß daraus eine Ablenkung des Pendels von derjenigen Linie stattfinden, welche bei gleichförmiger Dichte der Erde dasselbe als lothrechte Linie anzeigen würde. Da aber alle Beobachtungen (sowohl die an Pendeln, als die astronomischen Gradmessungen) welche zu Bestimmung der Gestalt der Erde angestellt werden, auf die lothrechte Linie im Beobachtungsorte bezogen werden, so müssen nothwendig die aus allen diesen Beobachtungen folgenden Resultate für die Gestalt der Erde, nach dem Einflusse verschieden dichter Erdschichten in den verschiedenen Beobachtungsorten, mit einem Fehler behaftet sein. Sonach kann sehr wohl die Gestalt der Erde die eines regelmäßigen Revolutions-Ellipsoids sein (Berge und Thäler kommen wie schon gesagt bei der Kleinheit derselben in Verhältniß zum ganzen

Digitized by Google

Erdkörper gar nicht in Betracht*)) und Muncke gibt für die Ausmessungen der Erde unter dieser und der Voraussetzung, daß dieselbe eine Abplattung $= \frac{1}{289}$ (oder zunächst nach Sabine's Versuchen $= \frac{1}{289,1}$) habe, folgende Werthe an:

Halbmesser des Aequators	3271952	Toisen
Umfang des Aequators	20558280	—
Halbe Axe	3260643	—
Halbmesser eines Kreises von der Größe eines Meridians	3266295	—
Halbmesser einer Kugel vom Inhalte der Erde	3268175	—
Ein Grad im Aequator	57106,334	—
Ein Grad unterm Aequator**)	56711,963	—
Ein Grad unter 45° NB	57007,000	—
Ein Grad unter den Polen	57304,513	—
$\frac{1}{90}$ eines Meridian-Quadranten	57006,442	—
Krümmungshalbmesser für 45°***)	3266260	—
$\frac{a+b}{2}$†)	3266298	—
Länge eines Meridians	5390,668	Meil.
Länge eines Quadranten	1347,667	—

Muncke bemerkt, daß es bei der Größe der Erdkugel kaum erforderlich sei, den Inhalt und die Oberfläche derselben mit größter Schärfe anzugeben, und man mit hinlänglicher Genauigkeit sie als eine Kugel betrachten könne, deren Halbmesser das arithmetische Mittel zwischen der halben großen und kleinen Axe ist (die Summe beider dividirt durch 2). Rechnet man genauer, so beträgt der Umfang der Erde nach der

---

*) Gelpke sagt: So ungeheuer groß uns die Masse und Größe der Berge zu sein scheint, so sind sie doch gegen die Erde nicht größer als Sandkörner gegen eine Kugel von 21 Fuß im Umkreise oder 7 Fuß im Durchmesser. Denn vergleichen wir den höchsten Berg unseres Wohnortes, den Chimborasso in Peru im südlichen Amerika, welcher mit einer senkrechten Höhe von 3358 par. Klaftern oder über 20000 Fuß über die Meeresfläche sich erhebt, mit dem Durchmesser unseres Wohnortes, welcher 1720 deutsche Meilen lang ist, so macht seine Höhe kaum den 2000sten Theil von diesem, und vergleichen wir ihn mit dem Umfange oder Umkreise der Erde, welcher 5400 deutsche Meilen lang ist, so macht er hiervon nicht mehr als den 6000sten Theil aus. Einen nicht größeren Theil nimmt aber auch ein Sandkorn von der Dicke einer halben Linie auf einer Kugel ein, deren Umkreis 21 Fuß beträgt; daher ist der höchste Berg auf unserem Wohnorte nicht größer als ein solches unbedeutendes Sandkorn auf einer solchen Kugel.

**) D. h. ein Grad eines Meridianes unter dem Aequator.

***) Vergl. S. 272.

†) a = Halbmesser des Aequators und b = halbe Axe der Erde; (a — b): 2 also das Mittel aus der halben großen und kleinen Axe.

Digitized by Google

Größe des angenommenen Halbmessers 5400 Meilen, ihr Durchmesser 1718, 834 Meilen, also ihr Halbmesser 859, 417 Meilen, wofür man in runder Zahl 860 anzunehmen pflegt. Die gesammte Oberfläche der als elliptisch-sphäroidisch angesehenen Erde beträgt aber 9260500 Quadratmeilen, statt daß sie bei einer Kugel, deren Radius dem halben Durchmesser der Erde gleich wäre 9281920 und bei einer solchen, deren Radius der halben Axe gleich wäre 9217817 Quad. Meilen betragen würde, der Inhalt derselben ist aber in sehr genähertem Werthe 2650686000 Kub. Meilen*).

*) Für die Annahme, daß die halbe Axe der Erde = 3271691 Toisen und der Halbmesser des Aequators = 3260964 Toisen, also die Abplattung der Erde = $\frac{1}{326}$ sei, gibt Littrow folgende Größenbestimmungen in Bezug auf die Erde.

Halbmesser eines Kreises, welcher mit dem elliptischen Meridian einerlei Umfang hat = 3266330; Halbmesser einer Kugel, welche mit der elliptischen Erde, deren halbe Axen a und b die angezeigten Werthe haben, einerlei körperlichen Inhalt hat = 3268111 Toisen.

Nimmt man die Erde als eine Kugel an, deren Halbmesser gleich der letzten Zahl oder gleich 3268111 Toisen beträgt, so ist die Länge der Peripherie eines größten Kreises dieser Kugel R = 20534143', also dessen 5400ster Theil oder eine deutsche geographische Meile = 3802',6191 und daher auch der Halbmesser jener Kugel R = 859, 4366 geogr. Meilen; die Oberfläche dieser Kugel aber = 134215710 Millionen Quadrat-Toisen oder = 9281916 Quadrat-Meilen; endlich der körperliche Inhalt derselben gleich 146210540 Billionen Kubik-Toisen, oder 2659073060 Kubik-Meilen. — Ein Par. Kubikfuß reines Regenwasser wiegt 61, 316 Wiener Pfunde, also eine Kubikmeile (die Meile nach dem Vorhergehenden zu 3802, 6191 Toisen oder zu 22815, 7146 Par. Fuß) 7282590 Millionen Wiener Centner. Eine Wassermasse von gleicher Größe mit der Erde würde also 19364940000 Billionen Wiener Centner wiegen, und da, nach den weiter unten (s. d. Folg.) zu erklärenden Beobachtungen Maskelyne's, die Dichte der Erde zur Dichte des Regenwassers sich wie 9 zu 2 verhält, so wiegt die ganze Erde 87142230000 Billionen Wiener Centner. — Nehmen wir an, daß ein Sandkorn eine Par. Linie lang, breit und hoch sei, so würde, wenn die Toise 600 Linien hat, eine Kubiktoise 216 Millionen, eine Kubikmeile 11876871 Billionen, und die ganze Erde 31581 Quadrillionen solcher Sandkörner enthalten, und wenn man auch in jeder Zeitsecunde zehn solcher Körner auf einen Wurf aufzählen könnte, so würde man in einem Jahre von 365¼ Tagen erst 31557600000 Körner, die ganze Anzahl von 31581 Quadrillionen dieser Körner aber, welche die Erde enthält, erst in 1000757 Billionen Jahren zählen können, oder man würde in den 6000 Jahren, die nach der gewöhnlichen Rechnung seit der Entstehung der Erde verflossen sind, noch nicht den 200 Billionsten Theil jener Sandkörner gezählt haben. Und doch ist diese Erde nur einer der kleineren von den uns bekannten Himmelskörpern, da man z. B. aus dem Körper Saturns 975, aus dem des Jupiter 1280, und aus dem der Sonne 1393000 solche Körper machen könnte, die an Größe unserer Erde gleich sind.

Digitized by Google

Schon in dem Früheren iſt im Allgemeinen angegeben worden, wie die Grade der Meridiane, weil dieſe nicht Kreiſe, ſondern Ellipſen ſind, nach den Polen zu an Größe immer mehr zunehmen, und wie die (unter ſich für jeden einzelnen Parallelkreis gleichen) Grade der Parallelkreiſe mit der Annäherung dieſer an den Aequator an Größe abnehmen müſſen, (weil der dieſe Kreiſe beſchreibende Halbmeſſer immer kleiner wird); es iſt aber zu Berechnung der Entfernungen der verſchiedenen Orte der Erde aus ihrer geographiſchen Lage nöthig, die Größe eines jeden Parallelkreiſes, ſo wie der Grade der Meridiane für die verſchiedenen Breiten zu wiſſen. Muncke gibt ſolche Größenbeſtimmungen in folgender Tabelle:

Breite.	Grade im Meridian.		Grade im Parallel.	
	Toiſen.	Meilen.	Toiſen.	Meilen.
0°	56711,96	14,896	57106,33	15,000
5°	56716,44	14,897	56890,51	14,943
10°	56729,70	14,901	56244,63	14,773
15°	56751,34	14,907	55173,25	14,492
20°	56780,75	14,914	53684,07	14,101
25°	56817,07	14,924	51787,86	13,603
30°	56859,15	14,935	49498,27	13,002
35°	56905,80	14,947	46832,00	12,301
40°	56955,57	14,960	43808,53	11,507
45°	57007,00	14,974	40450,17	10,625
50°	57058,46	14,987	36781,85	9,661
55°	57108,46	15,000	32831,00	8,623
60°	57155,41	15,013	28627,40	7,519
65°	57197,94	15,024	24202,92	6,357
70°	57234,70	15,034	19591,34	5,146
75°	57264,54	15,041	14828,05	3,895
80°	57286,54	15,047	9949,79	2,613
85°	57300,04	15,051	4994,29	1,312
90°	57304,51	15,052	000,00	0,000

Die geographiſche Lage der Orte auf der Erde ſelbſt, wird, wie ſchon oben S. 269. angegeben beſtimmt durch den Meridian und den Parallelkreis, unter welchen ſie liegen. Nach der gemeſſenen geographiſchen Lage der wichtigeren Orte, werden die Karten gezeichnet, daher es wichtig iſt dieſelbe zu kennen. Folgende Tabelle gibt die Lage der wichtigſten Orte der Erde an, wobei zu bemerken, daß die ſüdlichen Breiten mit S. bezeichnet ſind und als erſter Meridian der von Ferro angenommen iſt. Vergl. d. Art. Breite und Länge, geographiſche.

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.		
Aarhuß	27°	53′	50″	56°	9′	35″
Abo	39	58	30	60	27	10
Abeville	19	29	40	50	7	1
Adrianopel	44	6	38	41	41	0
Aix	23	6	34	43	31	35
Agram	94	24	0	26	43	0
Alexandrien	47	35	30	31	13	5
Algier	19	52	45	36	49	30
Altona Sternwarte	27	26	30	53	32	45
Amiens	19	57	56	49	53	38
Amsterdam	22	32	53	52	22	17
Ancona	31	10	30	43	37	54
Anholt. Leucht.	29	20	6	56	44	20
Angers	17	6	8	47	28	8
Antibes	24	47	29	43	34	47
Antigua	315	42	0	17	4	30
Antwerpen	22	4	15	51	13	15
Arensburg	39	57	30	58	15	0
Archangel	56	39	15	64	33	36
Arendahl	26	29	12	58	27	11
Astrachan	65	42	30	46	21	12
Augsburg	28	32	32	48	23	35
Autun	21	57	44	46	56	46
Aveiro	9	10	45	40	38	25
Avignon	22	28	26	43	57	9
Babylon	61	52	30	32	34	40
Bagdad	62	4	22	33	19	14
Barnaul	101	6	45	53	20	0
Basel	25	15	12	47	33	35
Barcellona	19	53	49	41	22	52
Batavia	124	33	40	6	9	15 S.
Bayonne	16	11	19	43	29	15
Benares	134	28	25	25	18	36
Bergamo	27	20	11	45	41	51
Bergen	22	56	50	60	23	48
Berlin	31	3	32	52	31	15
Bern	25	22	45	46	57	9
Besançon	23	42	30	47	13	45
Bologna	29	1	15	44	29	54
Bonn	27	24	30	50	41	30
Bourdeaux	17	5	46	44	50	18
Boulogne	19	16	44	50	43	31
Buenos Aires	319	8	45	34	35	26 S.

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.		
Braunschweig	28°	12′	0″	52°	16′	11″
Bremen	26	28	4	53	4	50
Breslau	34	42	3	51	6	30
Brest	13	11	0	48	23	15
Brüssel	22	2	0	50	51	0
Cadix	11	22	30	36	32	0
Cairo	48	58	30	30	2	21
Calais	19	31	1	50	57	31
Calcutta	105	55	15	22	34	15
Cambridge	17	44	15	52	12	36
Cap Breton	317	45	0	45	53	45
Cap Horn	309	55	0	55	58	30 S.
Cap d. g. Hoffnung	36	5	45	33	55	15 S.
Carcassonne	20	0	46	43	12	45
Cassel	27	8	15	51	19	16
Casan	67	9	30	55	43	58
Catharinenburg	78	30	0	56	50	15
Celle	27	42	48	52	37	27
Charkow	53	55	0	49	59	20
Christiania	28	24	39	59	54	42
Coimbra	9	14	30	40	12	30
Collioure	20	45	32	42	31	27
Colmar	24	18	7	44	11	39
Constantinopel	46	35	10	41	1	30
Cracau	37	35	45	50	3	52
Cremona	27	41	57	45	7	43
Danzig	36	18	5	54	20	48
Darmstadt	26	19	39	49	52	21
Dieppe	18	44	21	49	55	34
Domingo	316	4	30	15	18	23
Dorpat	44	23	30	58	22	48
Dover	18	58	57	51	7	47
Drammen	27	53	9	59	43	38
Dresden	31	22	45	51	3	20
Dünaburg	44	7	39	55	52	23
Dünkirchen	19	57	37	51	2	16
Dublin	11	21	45	53	21	11
Duisburg	24	24	59	51	26	36
Edinburg	14	29	30	55	56	22
Erfurt	28	45	31	50	59	8
Erlangen	28	44	45	49	35	36
Ferro J.	0	0	0	28	0	0
Fiume	32	5	48	45	20	10

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.		
Florenz	28°	55′	30″	43°	46′	30″
Frankfurt a. M.	26	21	23	50	6	42
Frankfurt a. d. O.	32	13	0	52	22	0
Frejus	24	24	13	43	25	46
Galita	26	34	50	37	32	30
Genf	23	49	28	46	12	3
Genua	26	15	45	44	25	0
Gibraltar	12	20	14	36	6	30
Glasgow	13	23	8	55	51	35
Goa	91	25	0	15	31	0
Gothaab in Grönland	325	43	15	64	9	55
Gotha. Seeberg.	28	23	45	50	56	5
Gothenburg	29	37	45	57	42	4
Göttingen. Sternw.	27	26	15	51	31	48
Greenwich	17	39	45	51	28	40
Greifswalde	31	13	8	54	4	35
Grenoble	23	23	40	45	11	40
Grodno	41	23	29	53	40	30
Guadaloupe	315	40	45	15	59	30
Halle	29	37	47	51	29	5
Hamburg	27	37	36	53	33	8
Hannover	27	24	35	52	22	26
Harlem	22	17	0	52	22	14
Havre de Grace	17	46	23	49	29	14
Heidelberg	26	21	23	49	24	43
Helena	11	52	0	15	55	0 S.
Helmstädt	28	41	0	52	13	58
Helsingborg	30	23	0	56	2	41
Helsingör	30	16	15	56	1	30
Hyéres	23	47	34	43	7	2
Jamaica, Hafen	300	55	30	18	0	0
Jaroslawl	57	50	0	57	37	30
Jassy	45	9	45	47	8	30
Jena	29	16	45	50	56	28
Jeniseisk	109	38	30	58	27	17
Jerusalem	53	0	0	31	46	34
Jersey	15	28	58	49	12	59
Irkutsk	122	13	30	52	18	15
Ithaca	38	14	45	38	12	0
Kaluga	53	45	0	54	30	0
Kiringskoi-Ostrog	125	42	45	57	47	0
Königsberg	38	8	48	54	42	50
Kongsberg	26	28	30	59	53	0

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.		
Kopenhagen	30°	15′	30″	55°	41′	4″
Lambhuus. Isl.	355	40	0	64	6	17
Lauſanne	24	25	15	46	31	5
Leipzig	30	2	8	51	20	24
Leptis	31	47	15	32	37	23
Leyden	22	8	54	52	9	30
Lilienthal	26	55	0	53	8	25
Lima	300	32	15	12	2	35 S.
Lipari	32	35	25	38	28	35
Liſſabon	8	32	15	38	42	18
London	17	34	15	51	30	49
Lunel	21	47	54	43	40	20
Macao	131	15	15	22	12	44
Madagascar	67	33	0	17	40	14
Madera	0	37	0	32	35	40
Madras	97	36	42	13	4	9
Madrid	14	10	45	40	25	18
Magdeburg	28	18	48	52	8	4
Majorca	20	9	45	39	35	0
Malacca	119	45	0	2	12	0
Malta	32	10	30	35	53	47
Mannheim	26	7	45	49	29	13
Marſeille	23	2	0	43	17	48
Martigues	22	42	24	43	23	56
Martinique	98	33	39	16	10	32
Maſulipatnam	316	34	0	14	35	55
Mayland	26	50	30	45	28	0
Meliboeus	26	18	28	49	43	33
Meſſina	33	27	0	38	22	0
Mexico	278	34	0	19	25	45
Mons	24	22	44	43	40	41
Montpellier	21	32	31	43	36	16
Montreal	19	48	21	43	12	0
Moscau	55	12	45	55	45	20
München	29	14	30	48	8	22
Murzuk	32	51	45	25	24	0
Nangaſaki	147	31	55	32	45	50
Narbonne	20	40	5	43	11	11
Neapel	31	56	2	40	50	15
Newyork	303	31	0	40	43	0
Nierſtein	26	13	16	49	51	40
Nimes	22	0	55	43	50	29
Nürnberg	28	47	0	49	27	12

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.			
Ochotsk	160°	53′	30″	59°	20′	10″	
Ofen	36	40	0	47	29	12	
Orleans	19	34	22	47	54	10	
Orenburg	72	50	0	51	46	5	
Oxford	16	24	43	51	45	40	
Palermo	31	12	15	38	6	44	
Paris	20	0	0	48	50	14	
Pau	17	17	15	43	17	29	
Pavia	26	49	33	45	10	47	
Peking	134	5	30	39	54	13	
Pello	41	38	15	66	48	16	
Pentellaria	29	35	5	36	51	15	
Perpignam	20	33	57	42	41	48	
Peſth	36	43	15	47	29	25	
Petersburg	47	58	40	59	56	23	
Peter-Pauls-Hafen	176	28	15	53	1	20	
Philadelphia	302	28	15	39	56	55	
Pic auf Pico	349	11	19	38	35	0	
Plymouth	13	32	15	50	22	24	
Pondichery	97	31	30	11	55	42	
Ponoi	58	49	15	67	4	30	
Porto Carthago	28	9	30	36	52	0	
Portsmouth	16	33	30	50	48	0	
Prag	32	4	50	50	5	19	
Presburg	34	50	30	48	8	7	
Quebeck	306	30	0	46	47	30	
Raſtadt	25	52	27	48	51	29	
Regensburg	29	44	18	49	0	53	
Rio Janeiro	334	23	0	22	54	10	S.
Rom	30	8	22	41	53	54	
Rotterdam	22	8	56	51	55	22	
Rouen	18	45	44	49	26	27	
Salzburg	30	43	0	47	47	36	
Saratow	63	40	0	51	31	28	
Schleswig	27	13	42	54	31	0	
Siam	118	30	0	14	5	0	
Smyrna	44	46	33	38	28	7	
Slough	17	3	45	51	30	20	
Speyer	26	6	1	49	19	4	
Stade	27	7	45	53	36	5	
Stockholm	35	44	15	59	20	35	
Straßburg	25	24	36	48	34	55	

Digitized by Google

Oerter.	Grade der Länge.			Grade der Breite.		
Stromboli	32°	52′	55″	38°	48′	0″
Surate	90	2	0	21	10	0
Sweaburg	—	—	—	60	8	42
Syracus	32	55	55	37	2	58
Teneriffa Pic	1	8	0	28	12	54
Theſſalonich	40	48	0	40	41	0
Tobolsk	85	46	0	58	12	30
Toulon	23	35	42	43	7	13
Touloufe	19	6	21	43	35	46
Tornea	41	52	0	65	50	50
Tripolis	30	50	30	32	53	40
Trontheim	—	—	—	63	26	12
Tübingen	26	43	30	48	31	15
Ulm	27	39	52	48	23	50
Uranienburg	30	22	25	55	54	30
Upſala	35	17	55	59	51	50
Utrecht	22	47	1	52	5	12
Venedig	30	0	44	45	25	32
Verſailles	19	47	9	48	48	18
Warasdin	34	5	34	46	18	18
Warſchau	38	42	30	52	14	28
Wien	34	2	30	48	12	36
Wilna	42	57	25	54	41	0
Wittenberg	30	18	8	51	52	29
Würzburg	27	34	32	49	47	17
" " Capelle	27	34	32	49	46	49
York	16	33	45	52	57	45
Zürich	26	12	26	47	22	29

Wenn man aus der bekannten Breite und Länge zweier Orte ihre Entfernung von einander berechnen will, ſo ſind drei Fälle zu unterſcheiden. 1) Wenn beide Orte unter demſelben Meridiane liegen, d. h. dieſelbe geog. Länge haben, ſo erhält man durch Vergleich ihrer Breiten die Anzahl von Graden, um welche beide Orte unter demſelben Meridiane von einander entfernt liegen. Da nun die dritte Columnne der auf S. 287. angegebenen Tabelle zeigt, daß man ſtets nur um ſehr wenig irrt, wenn man die Länge jedes Grades eines Meridianes zu 15 geogr. Meilen annimmt, ſo hat man um die Entfernung beider Orte nach geogr. Meilen zu beſtimmen nichts weiter zu thun, als die Anzahl der Grade, um welche ſie von einander liegen, mit 15 zu multipliciren. 2) Wenn beide Orte unter demſelben Parallelkreiſe liegen, d. h. wenn ſie dieſelbe geogr. Breite haben, ſo vergleicht man ihre geogr. Längen, um zu wiſſen um wie viele

Digitized by Google

Grade ihres gemeinsamen Parallelkreises sie von einander entfernt sind; dann bestimmt man aus der 5. Columne der S. 287. angegebenen Tabelle die Länge Eines Grades des gemeinsamen Parallelkreises und multiplicirt die gefundene Zahl der zwischen beiden Orten liegenden Grade mit dieser in der Tabelle gegebenen Zahl. In der Tabelle S. 287. sind freilich nur die Längen der Grade der um 5° von einander entfernten Parallelkreise angegeben, indeß wird der Irrthum nicht sehr bedeutend sein, wenn man für die Größe des Grades des gegebenen Parallelkreises die des in der Tabelle stehenden nächstgelegenen annimmt, oder eine nach Verhältniß zwischen den in der Tabelle angegeben Größen liegende als die wahre Größe des gesuchten Parallelkreisgrades annimmt. Für südliche und nördliche Parallelkreise gelten dieselben Größenbestimmungen. 3) Wenn beide Orte weder unter demselben Meridiane, noch unter demselben Parallelkreise liegen, d. h. wenn sie verschiedene Länge und Breite haben; so denke man sich die kürzeste beide Orte verbindende Linie auf der Erdoberfläche gezogen. Gesetzt a (Fig. 116.) sei der eine der beiden Orte unter dem Meridiane cgadef und dem Parallelkreise ale gelegen, b der andere unter dem Meridiane cbld und dem Parallelkreise gbf gelegen, ab die kürzeste sie verbindende Linie auf der Oberfläche der Erde. Aus den gegebenen Längen und Breiten kann man die Entfernung des Punktes l von a und b finden nach dem eben angegebenen 1) und 2) Falle, denn l liegt mit b unter demselben Meridiane und mit a unter demselben Parallelkreise. Sind aber die Größen bl und al (die Entfernungen des Punktes l von b und a) bekannt, so kann man daraus die Größe von ab berechnen. ab ist eine gekrümmte Linie, die Art und Weise wie die Länge derselben aus der Länge der gleichfalls krummen Linien bl und al gefunden wird, läßt sich nur unter Voraussetzung höherer geometrischer Kenntnisse angeben. Sind indeß die beiden Orte a und b nicht zu fern von einander, so können wir ohne großen Irrthum die drei angegebenen Linien als gerade betrachten, und dann wissen wir, daß abl ein rechtwinkliges Dreieck, und ab dessen Hypotenuse ist; weil die Ebenen der Parallelkreise senkrecht mit den Ebenen der Meridiane sich schneiden. Aus dem bekannten Pythagoräischen Lehrsatze folgt dann, daß $\overline{ab}^2 = \overline{al}^2 + \overline{bl}^2$, oder daß $ab = \sqrt{\overline{al}^2 + \overline{bl}^2}$; wonach die Entfernung ab der beiden Orte von einander aus den leicht zu berechnenden Entfernungen des Punktes l von a und b zu berechnen ist.

Die in den verschiedenen Ländern gebräuchlichen Meilenmaße beziehen sich zum Theil ursprünglich auf die Länge eines Grades im Aequator, alle aber sind später um sie genau unter einander vergleichen zu können auf diese Größe bezogen worden. Am allgemeinsten im Gebrauch ist die geographische Meile, auch deutsche Meile genannt, weil die Niederländischen oder Deutschen Schiffer sich ihrer bei Zeichnung der See- und Landcharten bedienten. Dieselbe macht wie schon oben bemerkt den funfzehnten Theil eines Grades im Aequator aus, und hiernach enthält sie 3807,09 Toisen, oder 22842,54 par. Fuß oder 23642,1 rheinländische. Für die sonstigen aber keineswegs hinlänglich genau bestimmten Meilen gibt Muncke folgende Tabelle an:

Digitized by Google

Namen derselben	Sollen halten	Werden gerechnet auf 1 Grad	Enthielten demnach in par. Fuß.
Arabische	— — —	56,67	6045,7
Baiersche, kleine	— — —	14,15	24212,7
" große	— — —	8,69	39425,8
Chinesische neue Li	— — —	193,40	1771,5
Churbraunschweigische	2811,2 rheinl. Ruth.	10,52	32569,4
Dänische	12000 dänische Ellen	14,79	23165,0
Französische Lieue	— — —	25,00	13704,4
" Seemeile	— — —	20,00	17130,5
Großbritann. neue	1760 Yards	69,12	4956,6
" Seemeile	— — —	60,00	5710,1
" League	— — —	20,00	17130,5
Hannöversche	32000 Calenb. Fuß	11,89	28800,0
Holländische	— — —	19,00	18032,1
Italienische	1000 geogr. Schritte	60,00	5710,1
Jüdische alte	2000 bibl. Ellen	100,80	3398,9
Niederländ. Stunde	— — —	19,67	17117,8
" Seemeile	— — —	20,00	17130,5
Nürnberger	— — —	13,10	26153,5
Oestreichische	— — —	7,48	45803,5
Persische	— — —	22,50	15227,1
Polnische	— — —	20,00	17130,5
Portugiesische	— — —	18,00	19034,0
Preußische	2000 Ruthen	14,78	23113,0
Russische Werst	1500 Arschinen	104,30	3284,8
Sächsische, gemeine	12000 Dresd. Ellen	16,21	20907,8
" Polizei	16000 " "	12,29	27877,1
Schottländische	1147 Toisen	49,80	6882,0
Schwäbische	— — —	12,00	28550,8
Schwedische	18000 Ellen	10,41	32911,6
Schweizerische	— — —	13,30	25760,2
Spanische	5000 Veras	26,63	12882,0
Türkische Berri	— — —	66,67	5138,9
" Seemeile	— — —	86,40	3965,4
Ungarische	— — —	13,30	25760,2

Die Erde ist einer von den Körpern, welche in regelmäßigen Bahnen um die Sonne, von welcher sie Licht und Wärme empfangen, sich herum bewegen, d. h. ein Planet. Von den uns bekannten Planeten stehen nur zwei, Mercur und Venus, der Sonne näher als die Erde; in Bezug auf die Erde heißen dieselben die unteren Planeten, während man die übrigen als obere Planeten bezeichnet; diese sind nach ihrem Abstande von der Erde und der Sonne geordnet folgende: Mars, Ceres, Vesta, Juno, Pallas, Jupiter, Saturnus,

Digitized by Google

Uranus. Wie noch andere dieser Planeten hat die Erde einen wieder um sie, und mit ihr zugleich um die Sonne sich bewegenden Begleiter, (Trabanten) den Mond (s. d. Art.) Die Erde hat eine zweifache Bewegung, vermöge welcher sie in ihrer Bahn fortrückt und ihre Stellung gegen die Sonne ändert, nämlich um sich selbst, oder vielmehr um eine durch ihren Mittelpunkt gehende gerade Linie, Axe, und um die Sonne.

Schon der Umstand, daß aus der Annahme, die Erde sei ein Planet und bewege sich also um sich selbst und um die Sonne, alle Erscheinungen, welche aus dem Verhältnisse der Erde zu den übrigen Weltkörpern sich ergeben, eine so vollständige Erklärung erhalten, daß man diese Erscheinungen selbst mit der größten Schärfe berechnen und vorausbestimmen kann, spricht für die Richtigkeit dieser Annahme.

Aristarch von Samos hatte schon um das Jahr 220 v. Ch. gelehrt, daß die Erde sich um ihre Axe und zugleich um die Sonne herum bewege; doch fand diese Lehre nicht einmal bei den Gelehrten allgemeine Annahme. Der erste aber, welcher dieselbe auf eine bestimmte und wissenschaftlich begründete Weise aussprach, war Nicolaus Kopernicus, der 1472 zu Thorn gebohren und nachher Domherr zu Frauenburg in Preußen war. Derselbe behauptete, daß die Sonne still stehe und die Erde so wie alle Planeten um sie als um den Mittelpunkt ihrer Bahnen sich herum bewege und zwar in bestimmten Zeiten in einerlei Richtung von Westen nach Osten. Kopernicus machte diese seine Lehre erst wenige Tage vor seinem Tode im J. 1543 durch ein zu Nürnberg gedrucktes Werk öffentlich bekannt. Die Lehre des Kopernicus wurde besonders durch Galiläo Galiläi (1565 zu Pisa geb.) aufgefaßt und wissenschaftlich begründet, wodurch sich derselbe große Verfolgungen von Seiten der römischen Kirche zuzog. Galiläi wurde, weil man meinte, daß die Lehre von der Bewegung der Erde der göttlichen Offenbarung entgegen sei, gezwungen im J. 1633 in Rom seine Lehre abzuschwören mit den Worten: „Corde sincero et fide non ficta abjuro, maledico et detestor supradictos errores et haereses“ (Mit aufrichtigem Herzen und unverheucheltem Glauben schwöre ich ab, verdamme und verabscheue die angegebenen Irrthümer und Ketzereien). Auf den Knieen liegend, die Hand auf das Evangelium gelegt, sprach er diese Worte, aber als er aufstand, soll ihn so der Schmerz über die Lüge, zu der man ihn gezwungen hatte, übermannt haben, daß er mit dem Fuße aufstampfte und sagte: „E pure si muove“ (und doch bewegt sie sich).

Vorzüglich darum hielt man die Lehre von der Bewegung der Erde für irreligiös, weil im 10. Cap. des Buches Josua erzählt wird, Josua habe während einer Schlacht gegen die Amoriter ausgerufen: „Sonne stehe still zu Gibeon, und Mond im Thal Ajalon.“ Und Sonne und Mond standen still, bis die Israeliten die Amoriter geschlagen hatten. Wie aber konnte die Sonne still stehen, wenn sie niemals in Bewegung war? — Es kann aber hier so gut von der scheinbaren Bewegung der Sonne die Rede sein, wie wir noch jetzt, nachdem in allen Schulen gelehrt wird, daß die Sonne still stehe, sagen: die

Digitized by Google

Sonne geht auf und geht unter. Und noch jetzt würde man, wenn plötzlich die Erde still stände und damit ein Stillstand der scheinbaren Bewegung der Sonne einträte, sagen: die Sonne stehe still. Die Lehre von der Bewegung der Erde ist so wenig gegen die göttliche Offenbarung als überhaupt irgend welche menschliche Weisheit der göttlichen Weisheit Eintrag zu thun vermag; die Bibel lehrt aber diese, nicht jene.

Bei einer genauen Ueberlegung erscheint es schon an und für sich widersinnig, daß nach der früheren Meinung die Sonne und die Millionen von Weltkörpern, welche wir als leuchtende Punkte am Himmel erblicken, die, um aus so ungeheurer Entfernung nur gesehen werden zu können, meist größer sogar als die Sonne sein müssen, um die kleine Erde sich herum bewegen sollen, zumal wenn man noch bedenkt, wie ungeheuer die Geschwindigkeit sein müßte, mit der diese fernen Weltkörper sich bewegen müßten, um binnen 24 Stunden um die Erde herum zu kommen. Aber abgesehen von dem schmeichelnden Gefühle, daß sich die ganze Welt um die kleine Erde, welche der Mensch beherrscht, um für diesen Tag und Nacht zu machen, sich herumdrehen sollte, so wurden gegen die kopernicanische Weltansicht noch Einwendungen gemacht, welche erst durch eine vollständigere Naturerkenntniß widerlegt werden konnten. So wendete man gegen die Umdrehung der Erde dasselbe ein, was auch gegen die Kugelgestalt derselben vorgebracht wurde: daß nämlich die Menschen und alle Gegenstände auf der Erde, wenn sie sich drehte, nothwendig von ihr herunterfallen müßten. Wie diese Meinung durch eine richtigere Erkenntniß von dem, was **oben** und **unten** sei, widerlegt wird, ist schon oben S. 264. gesagt worden. Man meinte ferner, daß wenn sich die Erde von Westen nach Osten umdrehe, so müsse ein schwerer Körper, den man von der Höhe eines Thurmes auf der Westseite desselben herabwürfe nicht, wie doch geschieht, am Fuße des Thurmes niederfallen, sondern es müßte derselbe etwas westwärts von dem Thurme zu liegen kommen, weil während der Zeit, in der er fiele, die Erde unter ihm weg nach Osten sich gedreht haben würde. Die Physik lehrt aber, daß ein Körper die Bewegung eines anderen Körpers, dessen Bewegung er vorher eine Zeitlang getheilt hat, auch noch weiterhin theilt, sobald er durch eine neue Kraft von ihm entfernt wird, wenn diese nicht die erste Bewegung direct aufhebt. Beispiele sind im Art. **Bewegung** angeführt; und ich erinnere hier nur daran, daß wenn man auf einem schnellsegelnden Schiffe einen Ball senkrecht in die Höhe wirft, dieser wieder auf das Schiff zurückfällt, nicht aber, wie man vielleicht meinen möchte, in das Wasser fällt, weil während er sich in der Luft befindet, das Schiff unter ihm wegsegeln müßte. So dürfen auch Kunstreiter, welche auf schnell sich bewegenden Pferden über vorgehaltene Stangen springen, keineswegs nach vorn springen, sondern sie springen gerad in die Höhe, und indem sie außer dieser Bewegung auch noch die Bewegung des Pferdes theilen, fliegen sie unwillkührlich über die vorgehaltenen Gegenstände hinweg und kommen wieder auf den Sattel des Pferdes zu stehen; wenn sie wie auf flacher Erde nach vorn springen wollten, so würden sie auf den Hals des Pferdes kommen. Aehnlich verhält es sich nun auch mit einem von einem Thurme geworfenen

Digitized by Google

Steine: er fällt ganz so, wie wenn die Erde unbewegt wäre, indem er die Bewegung der Erde von Westen nach Osten fortwährend theilt.

Wenn man aber von einer bedeutenden Höhe einen schweren Körper herabwirft, so weicht er dennoch von der senkrechten Linie ab, aber keineswegs nach Westen, sondern im Gegentheile nach Osten und in dieser Abweichung liegt kein Widerspruch gegen das eben Gesagte, vielmehr ist sie eine der stärksten Beweise für die Drehung der Erde von Westen nach Osten.

Die Erde dreht sich um ihre Axe, und es ist leicht einzusehen, wie die näher an der Axe liegenden Theile der Erde eine geringere Geschwindigkeit haben müssen, als die weiter von ihr entfernt liegenden. Binnen 24 Stunden nämlich gehen alle Theile der Erde um die Axe derselben herum, d. h. jeder derselben beschreibt einen Kreis, dessen Mittelpunkt in der Axe liegt. Derjenige Kreis, den entfernt von der Axe liegende Punkte beschreiben, muß natürlich viel größer sein als derjenige, den näher liegende Punkte zu beschreiben haben. Der Punkt, welcher am entferntesten liegt, muß folglich mit der größten Geschwindigkeit um die Axe sich herumbewegen, weil er den weitesten Weg binnen 24 Stunden zurückzulegen hat. Ein Körper, welcher sich an einem hochgelegenen Orte der Erde befindet, theilt die Geschwindigkeit mit welcher dieser Ort sich um die Erdaxe herumbewegt; indem er nun herabfällt, bewegt er sich mit dieser dem hochgelegenen Orte eigenthümlichen Geschwindigkeit von Westen nach Osten, während alle Punkte der Ebene, nach welcher er fällt, mit geringerer Geschwindigkeit von Westen nach Osten sich bewegen. Nach Maßgabe der größeren Geschwindigkeit des hochgelegenen Ortes vor der des niedriggelegenen muß folglich der schwere Körper von der senkrechten Linie abweichend weiter nach Osten fallen.

Zu den mißlungenen Versuchen aus der Abweichung frei herabfallender Körper von der genau senkrechten Linie einen Schluß für oder gegen die Bewegung der Erde zu machen, gehören diejenigen, welche Mersenne und Moutier angestellt haben. Dieselben gruben Kanonen senkrecht in die Erde und warfen Kugeln aus ihnen empor, von denen die eine 1800 F. südwestlich, die andere 2200 F. östlich von der Mündung niederfiel, eine dritte aber gar nicht wiedergefunden wurde. Wären die Kugeln senkrecht in die Höhe gestiegen und senkrecht wieder herabgefallen, so hätten sie müssen in die Kanonen, aus denen sie abgeschossen worden, zurückfallen. Diese Versuche mußten aber nothwendig mißlingen, da die Kugeln niemals in allen Punkten der Röhre genau gleichmäßig anliegen, daher gar nicht senkrecht in die Höhe steigen. Beobachtungen über das Fallen der Körper von Thürmen stellte zuerst Hook an, doch waren die von ihm gewählten Fallhöhen zu gering als daß er zu brauchbaren Resultaten hätte kommen können. Im J. 1791 wurden diese Versuche von Guglielmini auf dem Thurme Asinelli in Bologna wiederholt bei einer Fallhöhe von 241 Fuß. Guglielmini gelangte jedoch auch, weil er ein fehlerhaftes Verfahren einschlug, zu keinen entscheidenden Resultaten. Erst im J. 1802 wurden solche von Benzenberg erhalten, welcher Fallversuche vom Michaelisthurme in Hamburg anstellte, durch die sich bei 235 F. Fallhöhe eine östliche Ab-

Digitized by Google

weichung von 3,99 Par. Lin. ergab. Auch im Schachte des Kohlenbergwerkes zu Schlehbusch in der Grafschaft Mark stellte Benzenberg im J. 1804 Versuche an und fand bei einer Fallhöhe von 260 F. eine östliche Abweichung von 5 Linien. Nach der Rechnung, welche die Theorie aus der Bewegung der Erde gibt, hätte für eine Fallhöhe von 235 F. die östliche Abweichung 3,91 Lin. sein sollen, welches Resultat wie man sieht nahe genug mit dem durch Beobachtung gefundenen übereinstimmt.

Aus der eben angestellten Betrachtung ergibt sich auch, daß die verschiedenen Punkte der Erdoberfläche mit verschiedener Geschwindigkeit um die Axe der Erde sich herumbewegen. Derjenige Kreis nämlich, welchen ein jeder Punkt der Erdoberfläche binnen 24 Stunden zurücklegt, ist der durch ihn gehende Parallelkreis. So wie nun die Parallelkreise je näher den Polen desto kleiner werden, so nimmt auch die Geschwindigkeit der Punkte der Erdoberfläche ab und wird mit den Parallelkreisen an den Polen selbst $= 0$. Der Aequator ist der größte unter allen Parallelkreisen, daher denn auch die Punkte unterhalb des Aequators unter allen Punkten der Erdoberfläche am schnellsten sich bewegen. Da der Umfang der Erde unter dem Aequator 5400 Meilen ist, so muß jeder Punkt unter dem Aequator binnen 24 Stunden 5400 Meilen zurücklegen, d. h. in Einer Stunde 225 Meilen. Der Parallelkreis, unter welchem St. Petersburg liegt, hat nur einen Umfang von 2700 Meilen, so daß also St. Petersburg in einer Stunde nur $112\frac{1}{2}$ Meilen zurückzulegen hat, d. h. nur halb so viel als ein Punkt unter dem Aequator. Ein Punkt unter 80° Breite hat in 24 Stunden 938, d. h. in einer Stunde nur noch $39\frac{1}{12}$ Meilen zurückzulegen.

Nimmt man, welches wahrscheinlich ist, an, daß die Erdkugel früher eine flüssige oder doch weiche Masse war, so muß die größere Schwungkraft der in der Gegend des Aequators liegenden Theile der Erde, wenn diese ursprünglich eine regelmäßige Kugel war, in ihr das Bestreben erzeugen, in der Ebene des Aequators sich auszubreiten, in der Gegend der Pole dagegen sich abzuplatten. Da nun die Erfahrung gezeigt hat (vergl. oben Abplattung), daß die Erde in der That nach den Polen zu abgeplattet ist, so haben wir hierin einen neuen Beweis für die diese Abplattung erklärende Annahme, daß die Erde um ihre Axe sich bewege*).

Der Grund, warum wir von der Bewegung der Erde nichts spüren, liegt in der Gleichförmigkeit, mit der sie sammt ihrer Atmosphäre in dem leeren Raume oder in einem unendlich feinen das Weltall erfüllenden Aether sich bewegt. Erkennen wir einmal die Erde als einen Planeten an, so sprechen auch die Beobachtungen, welche man an den übrigen Planeten gemacht hat, sowohl für die Bewegung der Erde

*) Umgekehrt war der im Obigen angeführte Schluß Newtons von der Umdrehung der Erde auf die Abplattung derselben. Alle Beweise für die Abplattung der Erde, welche die Beobachtung gibt, sind auch Beweise für die Bewegung derselben um ihre Axe, weil jene eine Folge von dieser ist.

Digitized by Google

um die Sonne als auch für die Bewegung derſelben um ihre Axe. Mittelſt der Fernröhre hat man nämlich an anderen Planeten Flecken bemerkt, welche in beſtimmten Zeiten ſichtbar, dann aber wieder unſichtbar wurden; ſie erſchienen an dem einen Rande des Planeten, gingen über denſelben hinweg, verſchwanden an dem entgegengeſetzten Rande und kamen nach einer beſtimmten Zeit an dem erſten Rande wieder zum Vorſchein. Dieſe Erſcheinung iſt allein durch die Bewegung der Planeten erklärbar. Daß aber die Abplattung der Erde mit der Axendrehung derſelben zuſammenhängt, ſieht man daraus, daß auch die übrigen Planeten nach den Polen zu abgeplattet ſind. Der ſich am ſchnellſten, nämlich in 9 Stunden 55 Min. und 34 Secund. um ſeine Axe drehende Jupiter zeigt auch die ſtärkſte Abplattung unter allen Planeten.

Der einleuchtendſte Beweis für die doppelte Bewegung der Erde iſt aber der, daß ſich die Erſcheinungen, welche ſich auf das Verhältniß der Erde zu den übrigen Weltkörpern beziehen, vollkommen aus der Annahme jener doppelten Bewegung erklären laſſen. (S. die Art. Tag und Nacht, Ekliptik, Jahr und Jahreszeiten u. ſ. w.) Denn da die Bewegung der Erde zunächſt die ſcheinbare Bewegung des ganzen Himmels in 24 Stunden um die Erde und der Sonne mit ihren wieder zugleich um ſie ſich bewegenden Planeten unter den Fixſternen des Himmels hervorbringt, ſo iſt ſie auch der Grund aller zunächſt aus dieſer ſcheinbaren Bewegung hervorgehenden Erſcheinungen. Littrow gibt in dieſer Hinſicht folgende kurze Erläuterung: ABQD (Fig. 117.) ſei die Ebene des Aequators, die z. B. durch eine horizontale Tafel vorgeſtellt wird, die man ſich nach allen Seiten ins Unendliche erweitert vorſtellt. Durch den Punkt S derſelben, welcher Punkt die Sonne bezeichnen ſoll, ſei eine andere ebenfalls ohne Grenzen erweiterte Tafel, unter dem Winkel von 23° 28′ gelegt, und in der zweiten Tafel aus dem Mittelpunkte S ein Kreis BCDE gezogen, ſo wird dieſe zweite Tafel die Ebene der Ekliptik, und der in ihr verzeichnete Kreis die Ekliptik ſelbſt, oder die Bahn der Erde bezeichnen. Es ſei P der Nordpol, P′ der Südpol der Erde, alſo PP′ die Erdaxe, und die darauf ſenkrechte durch den Mittelpunkt der Erde gehende Linie aq der Erdäquator. Führt man nun in dieſer Bahn BCDE den Mittelpunkt der Erde ſo fort, daß die Erdaxe PP′ immer ſenkrecht auf der Ebene des himmliſchen Aequators ABQD ſteht, oder, was daſſelbe iſt, daß beide Aequatoren aq und AQ einander immer parallel bleiben, ſo ſieht man gleichſam von ſelbſt alle die Erſcheinungen ſich entwickeln, welche in der doppelten Bewegung der Erde ihren Grund haben. In der Mitte des Junius z. B. iſt der Mittelpunkt der Erde in E, am tiefſten unter dem himmliſchen Aequator. Da die Erde als eine Kugel von der Sonne immer zur Hälfte beſchienen wird, und da die Lichtgrenze, welche in der Figur die helle Hälfte der Erde von der dunklen trennt, immer ſenkrecht auf die Linie SE ſtehen muß, welche die Mittelpunkte der Sonne und der Erde verbindet, ſo liegt hier der Nordpol und ſeine nächſten Umgebungen ganz in der Tagſeite der Erde, und er bleibt, während ſich die Erde täglich um ihre Axe PP′ dreht, immer in den Strahlen der

Digitized by Google

Sonne. Weiter von dem Pole entfernte Orte, die aber noch auf der nördlichen Seite des Aequators aq liegen, wie z. B. Wien in w, werden zwar durch die Umdrehung der Erde auch in die Nachtseite geführt, aber bei dieser Neigung der Lichtgrenze wird der Bogen, den Wien während der Nacht beschreibt*), viel kleiner sein als der, welchen diese Stadt während ihres Tages zurücklegt, oder die Tage werden viel länger sein als die Nächte. Auch wird sich für diesen Ort die Sonne im Mittage, wie die Zeichnung deutlich zeigt, sehr hoch über den Horizont erheben, welcher letzte eine gerade durch den Mittelpunkt der Erde E auf wE senkrecht stehende Linie ist, und wegen dieses höheren Standes der Sonne wird die Temperatur auf der nördlichen Hemisphäre der Erde erhöht werden, oder kurz, die nördliche Hälfte der Erde wird Sommer haben. Der Südpol P' aber wird, wie sich auch die Erde um PP' drehen mag, immer in der Nachtseite bleiben, und da überhaupt von der ganzen südlichen Hemisphäre aP'q der größere Theil im Schatten liegt, also hier die Tage durchaus kürzer sind als die Nächte, so wird diese Hemisphäre ihren Winter haben.

Nach einem halben Jahre in der Mitte des Decembers ist der Mittelpunkt der Erde in C am höchsten über dem himmlischen Aequator AQ, und hier hat das Gegentheil von den oben erwähnten Erscheinungen statt. Der Nordpol P ist in der Nachtseite, während der Südpol P' immer von der Sonne beschienen wird; von der nördlichen Hemisphäre ist der kleinere, von der südlichen der größere Theil auf der Tagseite; auf jener sind daher die Tage kürzer als die Nächte, auf dieser die Nächte kürzer als die Tage oder die nördliche Hemisphäre hat ihren Winter, während die südliche ihren Sommer feiert. In der Mitte zwischen diesen beiden Punkten ist die Erde gegen den 20. März in D und gegen den 20. September in B, und da, wie man leicht sieht, hier die beiden Pole weder in der Tag- noch in der Nachtseite, sondern in der Lichtgrenze selbst liegen, so hat die ganze Erde Tag und Nacht einander gleich, eine Erscheinung, die wie man aus der Zeichnung sieht, für die Bewohner des Aequators wohl das ganze Jahr, für alle andere aber nur an den zwei Tagen des Jahres statt hat, welche den Anfang des Frühlings und des Herbstes bezeichnen.

Die Bahn der Erde, d. h. die krumme in sich zurücklaufende Linie, in welcher sich die Erde um die Sonne bewegt, ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, so also daß die Erde in den verschiedenen Jahreszeiten (auf den verschiedenen Punkten ihrer Bahn) in ungleichen Entfernungen von der Sonne absteht. Die halbe große Axe dieser Ellipse, oder die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne beträgt nach den Berechnungen von Enke 20666800 Meilen, oder genauer kann sie nach den gemachten Beobachtungen nicht größer als 20755943 Meilen und nicht kleiner als 20577649 Meilen sein. Hiernach ist sie etwa 12000 mal so groß als der Durchmesser der Erde.

---

*) Indem sich Wien in dem Kreise mit der Erde herumbewegt, dessen Durchschnitt in der Figur mit ww' bezeichnet ist.

Digitized by Google

Die Excentricität der Erdbahn, d. h. die Entfernung des Brennpunktes und damit der Sonne von dem Mittelpunkte, ist 0,016780 der mittleren Entfernung, und nimmt in 100 Jahren um 0,000042 ab. Diese Bahn legt die Erde im Laufe eines Jahres zurück, und zwar würde ein Beobachter auf der Sonne die Erde nach 365,256383 Tagen wieder vor demselben Sterne erblicken, daher das Jahr von dieser Länge das siderische (v. d. griech. σιδήρ Stern) Sonnenjahr heißt*).

Täglich muß die Erde 355800, in Einer Stunde 14800, in Einer Minute 246, in Einer Secunde 4,1 Meilen oder 93700 Par. Fuß vorwärts gehen; sie fliegt also in ihrer Bahn viel schneller fort, als selbst eine Kanonenkugel, die höchstens 2300 Fuß in der Sec. zurücklegt, und die größte auf Erden wahrgenommene Geschwindigkeit hat.

Die durch die Bahn der Erde gelegte Ebene bleibt immer dieselbe. In dieser Ebene bewegt sich die Erde so, daß ihre Axe nicht senkrecht auf derselben steht, sondern von der senkrechten Stellung um 23° 27′ 42″ abweicht, welche Abweichung die Schiefe der Ekliptik heißt (s. d. Art.) und jährlich um $\frac{1}{2}$ Sec. abnimmt. Während der ganzen Zeit ihres Umlaufes um die Sonne, bleibt die Axe derselben in einer mit sich selbst parallelen Richtung, d. h. die Richtung, welche dieselbe an einem Punkte der Erdbahn hat, ist parallel derjenigen Richtung, welche sie in jedem anderen Punkte der Erde hat*). Ein in der Sonne aufrecht stehender Beobachter, der seinen Kopf gegen den nördlichen Pol der Ekliptik gerichtet hätte, würde die Erde in ihrer Bahn von der rechten gegen die linke Seite fortrücken sehen. Stellt man sich einen Beobachter im Mittelpunkte der Erde stehend vor, den Kopf gegen den Nordpol gerichtet und nach einem Stern im Aequator sehend, so würden vor demselben die Gegenstände auf der Oberfläche der Erde, indem sich diese umdreht, von der rechten zur linken Seite vorübergehen. Die Zeit, in welcher sich die Erde einmal um ihre Axe herumdreht, ist stets genau dieselbe, nämlich ein Sterntag, nach mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt, 23 Stunden 56 Min. 4 Sec. (Vergl. d. Art. Zeit, Sternzeit.)

Die geringe Tiefe, bis zu welcher wir den Erdkörper kennen, zeigt schon vielfache Abwechselungen in der Dichte der verschiedenen Erdschichten; dennoch wäre es möglich, daß die Erde (indem die oberste Hülle, welche wir kennen, wegen ihrer Kleinheit gegen den ganzen Erdkörper nicht in Betracht kommt), als ein durchgängig gleichmäßig dichter Körper betrachtet werden könnte. Schon oben ist aber gesagt worden, daß Newton unter dieser Voraussetzung eine Abplattung der Erde $= \frac{1}{229}$ gefunden habe, welche Größe von den Resultaten der Beobachtungen zu Bestimmung der Abplattung so sehr abweicht, daß wir jene Voraussetzung einer durchgängig gleichmäßigen Dichte als falsch annehmen müssen. Ferner müßte sich bei gleichmäßiger Dichte der Erde die halbe Axe der

*) Vergl. über die Länge des Jahres nach seiner verschiedenen Bestimmungsart den Art. Jahr.

**) Vergl. Vorrücken der Nachtgleichen.

Digitized by Google

Erde zum halben Durchmesser des Aequators verhalten, wie die Schwere unter den Polen zur Schwere unter dem Aequator. Dieses Verhältniß wird durch die relativen Längen des Secundenpendels gegeben (vergl. oben S. 279. f.) und Biot berechnet unter dieser Voraussetzung gleichmäßiger Dichte der Erde die Abplattung der Erde $= \frac{1}{179}$, welches ebenfalls von den Resultaten der Beobachtungen abweicht.

Nehmen wir an, daß die Erde ehe sie ihre jetzige Gestalt annahm, in einem durchgehends mehr oder weniger flüssigen Zustande sich befand, aus welchem sich die festwerdenden Stoffe allmählig ablagerten, indem sie nach unten sanken, so scheint schon hieraus hervorzugehen, daß die dichtesten Schichten der Erdmasse um den Mittelpunkt der Erde gelagert seien, von da ab aber die Schichten an Dichte immer mehr bis zur Oberfläche abnehmen müßten. Man muß überdieß bedenken, daß je näher nach dem Mittelpunkte zu eine Erdschicht liegt, eine desto größere Last über ihr ruht und sie zusammenzudrücken strebt: auch aus dem nach dem Mittelpunkte der Erde hin zunehmenden Drucke folgt eine nach dem Mittelpunkte der Erde hin zunehmende Dichte der Erdschichten. Doch ist auch dieses ein Gesetz, welches vielfache Ausnahmen erleiden muß, wie theils aus den Gradmessungen und den Pendelmessungen, theils schon aus unseren Kenntnissen über die Lagerungen der Erdschichten zunächst an der Oberfläche der Erde folgt, denn diese zeigen keineswegs eine Regelmäßigkeit in der mit der Tiefe zunehmenden Dichte und überdieß ist es höchst wahrscheinlich, daß in dem Inneren der Erde so gut wie nahe an ihrer Oberfläche große Höhlungen vorkommen, wiewohl auch diese wegen des größeren auf ihnen lastenden Druckes gegen den Mittelpunkt der Erde hin seltener werden mögen. Dennoch hat man sich bemüht die mittlere Dichte*) der Erde zu bestimmen, und deßwegen sehr sorgfältige Beobachtungen angestellt, indem man die Anziehung der Erde mit der Anziehung anderer Körper verglich, deren specifisches Gewicht bekannt war.

Bezeichnet m die Masse eines Körpers, m′ die Masse eines anderen; r den Halbmesser des ersten (kugelförmigen), r′ den des anderen; g die Anziehung des ersten, g′ die des anderen, so weiß man, daß sich verhält

$$g : g' = \frac{m}{r^2} : \frac{m'}{r'^2} \text{ und}$$

$$d : d' = \frac{m}{r^3} : \frac{m'}{r'^3} \text{ beider}^{**})$$

so also daß, wenn die Anziehungen bekannt (durch Versuche gefunden) sind, so wie die Halbmesser beider und die Masse des einen, die Masse des anderen sich finden läßt, und wenn nach diesem auch die Massen bei-

*) Ueber den Begriff der mittleren Dichte eines Körpers s. d. Art. Dichte S. 581.

**) Die Anziehung der Erde ist durch den freien Fall der Körper in Einer Secunde gegeben.

Digitized by Google

der und die Dichte des einen gefunden ist, auch die Dichte des anderen sich bestimmen läßt.

Nach diesen Principien stellte Cavendish mittelst der Drehwage während eines ganzen Jahres Versuche und Beobachtungen an, zu welchen Michell zu erst den Gedanken angegeben hatte. Michell hing nämlich einen dünnen hölzernen Stab mit Bleikugeln an seinen Enden an einem feinen Metallfaden im Schwerpunkte auf. Der herabhangende Wagebalken muß an irgend einem Punkte zur Ruhe kommen, aber bei der außerordentlichen Beweglichkeit seiner Aufhängung durch die geringste auf ihn wirkende Kraft aus dieser seiner Lage gebracht werden. Vermöge seiner Schwere kommt der Wagebalken zur Ruhe, die Schwere aber ist nichts anderes als die auf ihn wirkende Anziehung der Erde. Nähert man dem Wagebalken nun in einer bestimmten Entfernung einen anderen Körper, dessen Masse und Dichte bekannt ist, so zieht dieser nach dem Gesetze der Massenanziehung (vergl. d. Art. Anziehung) den Wagebalken an, und bringt denselben gemäß der Größe dieser Anziehung aus der ihm durch die Anziehung der Erde gegebenen Stellung. Aus der Größe der Anziehung durch den bekannten Körper kann man folglich auf die Dichte der Erde schließen. Die leichte Beweglichkeit des Wagebalkens bringt es mit sich, daß schon durch die scheinbar geringfügigsten Kräfte der Wagebalken bewegt wird, daher man bei Anstellung derartiger Versuche sich nicht genug vor vielfachen Störungen (durch Temperaturwechsel, Luftströmungen, die durch Annäherung des Beobachters an den Apparat entstehen, u. dgl.) bewahren kann. Cavendish schloß daher seinen Apparat in ein eigenes Zimmer ein und beobachtete die Schwingungen des Wagebalkens durch Fernröhre.

Die Wage selbst befand sich in einem Gehäuse von Mahagoniholz FEABCD (Fig. 118.), welches durch vier Schrauben an hölzernen Pfeilern befestigt war und sich horizontal stellen ließ. An den Drähten hx hingen zwei Bleikugeln von 2 Zoll Durchmesser vor den Armen des Wagebalkens herab, welcher aus einem dünnen hölzernen Stabe hmh bestand, dessen Beugung bei großer Feinheit durch den feinen Silberdraht hgh vermieden wurde. Ein feiner übersilberter Kupferdraht lgm trug diesen Waagebalken und war selbst in den kleinen Klöbchen l und g festgeklemmt. Der obere Träger dieses Drahtes kann von Außen durch den Draht KF vermittelst einer Schraube ohne Ende gedreht werden. Von einem Balken des Zimmers HH hingen an einem Stifte p die kupfernen Stangen PrR herab, welche durch die Strebe rr auseinander gehalten wurden. An diesen waren unten die schweren Bleikugeln W, W befestigt, welche durch Umdrehen des Apparates um den Stift p vermittelst einer über die Scheibe MM und die Rolle m gehenden Schnur den kleineren Kugeln von beiden entgegengesetzten Seiten genähert werden konnten, wobei sie jedoch durch ein zur Vermeidung jeder Erschütterung des Apparats eingemauertes Stück Holz gehindert wurden, näher als 0,2 Zoll zu kommen. Die Lage des Armes wurde durch Verniere an seinen Enden angezeigt, welche dicht über einer elfenbeinenen Scale hinliefen, und da letztere in 20stel eines

Digitized by Google

Zolles getheilt war, jener aber den fünften Theil hiervon angab, so konnte die Bewegung bis auf 0,01 Zoll gemessen werden. Hierzu dienten die Einschnitte A, A im Gehäuse, beleuchtet durch die mit einer convexen Linse versehenen Leuchter L, L und beobachtet durch die Fernröhre T, T. Die eine Seite der Theilung nach ihrem Anfange hin nannte Cavendish die negative, die entgegengesetzte die positive, indem der Wagebalken auf dem ohngefähr in der Mitte liegenden 20sten Theilstriche in Ruhe stand.

Bei Anstellung der Beobachtungen wurden die Bleimassen W, W den kleinen Kugeln x x genähert, und die aus der Anziehung verursachten Schwingungen des Wagebalkens beobachtet. Der Wagebalken weicht von seiner früheren Lage ab; indem er nach beiden Seiten oscillirt (hin und her schwankt), ist als Punkt der Ruhe der inmitten der Grenzen der Abweichungen nach beiden Seiten liegende Punkt anzunehmen. Da die Oscillationen aber nach einander kleiner werden, so wurden die Abweichungen in der Art beobachtet, daß als Grenzpunkt der Abweichung nach der einen Seite das Mittel der ersten und dritten Schwingung angenommen und mit dem Grenzpunkte der zweiten Schwingung verglichen, den Punkt der Ruhe gab. Da die Oscillationen nur langsam auf einander folgen, so kann man die Zeit der Schwingungen leicht bestimmen, wenn man das Zeitinterval zwischen zwei weit von einander liegenden Coincidenzen (Zusammentreffen) der Theilstriche ungefähr in der Mitte der Schwingungen mißt, und dieses durch die Zahl der Schwingungen zwischen beiden Beobachtungen dividirt. Cavendish bediente sich bei seinen Versuchen eines versilberten Kupferdrahtes von 39,25 Zoll Länge und 2,4 Grains Gewicht, welcher so wenig Widerstand der Drehung leistete, daß beim Oscilliren des Wagebalkens die Kugeln an die Seiten des Gehäuses anschlugen, weßhalb er nur einige Versuche damit anstellte. Ueberhaupt wurden siebenzehn Versuche angestellt, und daraus die Dichtigkeit der Erde (die des Wassers = 1 angenommen) = 5,48 berechnet. Hutton (der die sogleich näher zu beschreibenden Berechnungen der Dichtigkeit der Erde aus der Ablenkung des Pendels durch Berge gemacht hatte) unterwarf noch als vier und achtzig jähriger Greis, die mühseligen größtentheils nicht von Cavendish selbst angestellten Berechnungen einer Prüfung, wonach die angegebene Größenbestimmung der Dichtigkeit der Erde auf 5,32 herabzusetzen ist. Doch ist auch diese Bestimmung verglichen mit der von Hutton aus seinen eigenen Beobachtungen gefundenen noch zu groß.

Im Artikel Anziehung Bd. I. S. 43. f. ist angegeben, wie schon Newton die Behauptung aufgestellt hatte, daß ein Berg eine Ablenkung des Lothes von derjenigen senkrechten Linie veranlassen müsse, welche jenes, wenn der Berg nicht auf dasselbe wirkte, anzeigen müßte. Bei den oben angeführten Gradmessungen, welche die Pariser Akademiker unter dem Aequator anstellten, wurde die Bestätigung dieser Behauptung gefunden, aber ohne daß die Ablenkung genauer gemessen wurde. Hutton und Maskelyne stellten zuerst in den Jahren 1774 bis 1776 genauere Beobachtungen über diejenige Ablenkung an, welche der Berg Shehallien (gälisch Thichallin) in Pertshire an dem Bleilothe

Digitized by Google

bewirkte. Die Art, in welcher diese Beobachtungen angestellt worden, ist im Allgemeinen im Art. Anziehung Bd. I. S. 44. angegeben. Das Verhältniß des Winkels, um welchen das Loth abgelenkt wird zum rechten Winkel oder zur Einheit, ist dann gleich dem Verhältnisse der Anziehung der Masse des Berges zu dem der Masse der Erde. Wird hierauf Volumen und mittlere Dichte des Berges ausgemittelt, so kann man bei dem bekannten Volumen der Erde (da sich die Anziehungen wie die Massen, und diese wie die Produkte aus Volumen und Dichte verhalten), die Dichte derselben berechnen.

Die von Hutton angestellten Beobachtungen lassen sowohl in Hinsicht auf ihre Anzahl als auch in Hinsicht ihrer Genauigkeit nichts zu wünschen übrig. Aus ihnen berechnete Hutton das Verhältniß der Dichte der Erde zu der des Berges = 9 : 5 (genauer = 17804 : 9938). Schwieriger fast als die angestellten Beobachtungen war es aber die Dichte des Berges aus der seiner sämmtlichen Bestandtheile zu bestimmen. Hutton nahm dieselbe = 2,5 an, wenn die Dichte des Wassers = 1 gesetzt wird. Hiernach verhielte sich die Dichte der Erde zu der des Wassers = 4,5 : 1 (oder genauer = 4,481 : 1), d. h. die Erde wäre (nach mittlerer Bestimmung oder im Ganzen betrachtet) 4,5tel mal dichter als Wasser. Macara von Fortingal nahm später die Dichte des Berges = 3 an, wonach die Dichte der Erde = 5, 377 würde, eine Bestimmung, die indeß gewiß zu groß ist. Hutton nahm daher eine zwischen seiner ersten und dieser in der Mitte liegende Bestimmung der Dichte der Erde zu 5 als die wahrscheinlichste an. Playfair und Lord Webb Seymour haben später die Beschaffenheit des Shehallien auf das genaueste untersucht, das specif. Gewicht (und damit die Dichte) der einzelnen Lagerungen so wie ihre Masse, endlich auch das Verhältniß ihrer Lage zu den Beobachtungsorten (zu Bestimmung der örtlichen Einflüsse derselben auf das Loth) bestimmt. Nimmt man außerdem noch Rücksicht auf die neuesten Bestimmungen des Volumens der Erde, so ergibt sich die mittlere Dichte der Erde = 4,71143, wenn die Dichte des Wassers = 1 gesetzt wird.

Noch hat Carlini aus einer Vergleichung der Länge des einfachen Secundenpendels auf dem Mont-Cenis, von ihm selbst gemessen, und der des Secundenpendels zu Bordeaux, von Biot gemessen, eine Bestimmung der Dichte der Erde = 4,39 abgeleitet, welche jedenfalls für die Vorzüglichkeit der Hutton'schen Bestimmung vor der von Cavendish spricht.

Die genaueste Bestimmung für die Dichte der Erde würde man berechnen können, wenn man genau alle Bestandtheile der Erde, die Größe der ganzen Masse und die Dichte jeder einzelnen kennte, dieß ist indeß keineswegs der Fall. Zieht man jedoch die Bestandtheile der Erde bis zu einer Tiefe von 1500 F. (den Wassergehalt der Erdkruste mit inbegriffen) in Betracht, so ergibt sich aus diesen eine Dichte der Erde = 1,52. Hieraus sieht man deutlich, daß das Innere der Erde aus anderen schwereren Substanzen bestehen müsse, als ihre oberste Rinde, denn diese müssen es sein, durch welche die mittlere Dichte der Erde auf ungefähr 5 (wie Hutton sie gefunden) erhöht wird.

Digitized by Google

Welches aber eigentlich das Innere, der Kern der Erde sei, ob dieses einer oder mehre der uns bekannten Stoffe sind, welche durch die auf ihnen lastenden schweren Körper zu einer ihnen an der Oberfläche der Erde nicht zukommenden Dichte zusammengepreßt sind, oder ob es ein anderer uns noch unbekannter Stoff sei, wissen wir noch gar nicht, und sind auch bis jetzt nicht im Stande irgend einen nur einen geringen Grad von Wahrscheinlichkeit habenden Schluß in dieser Beziehung zu machen. Dennoch haben Naturforscher viele großentheils gänzlich ins Zufällige fallende Hypothesen über die Beschaffenheit des Erdkernes aufgestellt, die kaum Anführung verdienen, so z. B. soll nach einigen das Innere der Erde Granit sein, nach anderen Magneteisenstein, nach noch anderen verdichtete Luft*), nach Halley endlich soll die Erde eine hohle Kugel sein, in deren Innerem eine massive Kugel sich bewege, und der Zwischenraum zwischen beiden Kugeln soll durch dasjenige Licht erleuchtet werden, welches aus den Polen entweichend von uns als Nordlicht wahrgenommen wird. Derartige unnütze Hypothesen können ins Unendliche ausgedehnt und ausgeschmückt werden. Nur Eine Hypothese verdient einer näheren Erwähnung, weil sie aus der wahrscheinlichen Art der Bildung der Himmelskörper entnommen ist. Da nämlich die Meteorsteine höchst wahrscheinlich in dem Weltraume selbst sich bilden (vergl. d. Art. Meteorsteine), dieses aber die einzige bekannte Art ist, wie feste Körper im Weltraume entstehen, auch berechnet ist, unter welchen (möglichen) Bedingungen ein solcher Körper um einen anderen sich herumbewegen, und unter welchen auf ihn niederfallen werde, so ergibt sich hieraus die Vermuthung, daß die Erde auch ursprünglich eine gewaltige Meteorsteinmasse sei. Hiermit ist ferner die Annahme vereinbar, welche aus noch anzuführenden Betrachtungen wahrscheinlich wird, daß die Erde ein ursprünglich glühender, erst allmählig von Außen nach Innen sich abkühlender Körper sei. Muncke bemerkt noch bei Anführung dieser von den Gebrüdern Marschall v. Biberstein und von v. Zach aufgestellten Hypothese: Das mittlere spec. Gewicht der Erde ließe sich mit dem der Meteorsteine gleichfalls leicht in Uebereinstimmung bringen, denn obgleich das der eigentlichen Steinmassen nur 3,5 beträgt, und selten auf 4,28 steigt, so muß man dagegen die große Menge des gleichfalls herabfallenden gediegenen Eisens in Anschlag bringen, dessen spec. Gewicht im Mittel 7,6 beträgt und woraus also nur $\frac{1}{4}\frac{1}{4}$ mithin nicht völlig $\frac{1}{7}$ der Erde bestände. Außerdem hat es allerdings etwas Auffallendes, daß der Olivin sich auf gleiche Weise in dem höchst wahrscheinlich aus der Erdmasse emporgequollenen Basalte findet, als in den Meteorsteinen, und daß überhaupt die Bestandtheile der letzteren manchen Doleriten sehr ähnlich sind. Wenn aber manche Substanzen, welche die Mineralogie liefert, als Gold, Silber, Zinn u. s. w.

*) Es ist berechnet, daß wegen des zunehmenden Druckes die Luft in einer Tiefe von 7,6 Meilen schon dichter als Wasser, in 11,1 Meilen schon dichter als Platin sein müsse, wie dicht müßte sie also erst um den 860 Meilen tiefen Mittelpunkt der Erde sein!

Digitized by Google

in den bisher untersuchten Meteorsteinen noch nicht aufgefunden sind, so muß man dagegen berücksichtigen, wie gering der Antheil dieser Stoffe im Verhältniß zur Gesammtmasse der Erde ist. Man dürfte dann ferner nur annehmen, daß bloß aus der oberen Kruste der Erde die schwereren Bestandtheile sich allmälig niedergesenkt hätten, um ihr das geringere spec. Gewicht derjenigen Steinarten zu geben, welche gegenwärtig die Erdrinde bilden, auch läßt sich selbst die große Menge des überall verbreiteten Eisens, welches einen so wesentlichen Bestandtheil der Meteorsteine ausmacht, zur Unterstützung dieser Hypothese anführen.

Nicht einmal die Oberfläche der Erde kennen wir überall, die Länder oder das Meer zunächst den Polen, das Innere von Afrika und das Innere von Neuholland sind uns noch völlig unbekannt, doch können wir aus den Kenntnissen, die wir über den größten Theil der Erdoberfläche haben, einigermaßen sichere Schlüsse auf die Beschaffenheit jener Gegenden machen. Die Hülle der Erde kennen wir überall nur bis zu einer gegen den ganzen Halbmesser der Erde verschwindend kleinen Tiefe. An sehr wenigen Orten ist man bis unter das Niveau des Meeres hinabgestiegen; zwar gibt es tiefe Schachten in Menge, aber die meisten gehen von so hohen Punkten der Erdoberfläche aus nach unten, daß bei aller ihrer Tiefe man wohl das Innere der Berge, aber nicht das Innere der Erde kennen lernt*). Auch ist es an und für sich unmöglich, daß, auch wenn ein Volk Jahrtausende lang an einem Schachte, der senkrecht hinabginge, die Arbeit fortsetzen wollte, ein solcher Schacht ausgeführt werden könnte, denn die Luft würde bald so an Dichte zunehmen, daß kein lebendiges Wesen in ihr athmen könnte, ja sie würde so fest sein, daß sie, die immer nachdringen würde, mit gleicher Festigkeit an die Stelle der durchhauenen Felsmassen treten würde, wie aus der oben (S. 307. Anm.) angeführten Berechnung hervorgeht**). Unter das Meer kommt man in der That in den Kohlenminen zu Whitehaven in Cumberland, die größte Tiefe aber, bis zu welcher man bis jetzt in die Erde eingedrungen, ist 300 Meter unter dem Niveau des Meeres, so tief nämlich reichen die Minen von Anzin bei Valenciennes. Wie gering aber diese Tiefe ist, sieht man, wenn man sie mit der Größe des Erdhalbmessers von 860 Meilen vergleicht: sie ist nur etwa $\frac{1}{20000}$ dieser Größe.

Die Oberfläche der Erde besteht aus Festland, Inseln und Meer. Unter Festland oder Continent (v. d. lat. continens zusammenhangend) versteht man die größeren, unter Inseln die verhältnißmäßig kleineren über die Oberfläche des Meeres hervorragenden festen Theile der Erdoberfläche. Eine Insel ist nicht jedes ganz von Wasser umflossene Stück Land, denn es gibt überhaupt gar kein nicht ringsum vom

*) Zu Kitzbühl in Tyrol geht z. B. ein Schacht 1000 Meter tief herab, aber er erreicht nicht einmal das Niveau des Meeres.

**) Eine weitere Unmöglichkeit des tieferen Eindringens in die Erde liegt in der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur bis (wahrscheinlich) zu einer alle Vorstellung weit übersteigenden Hitze. S. d. Folg.

Digitized by Google

Meere eingeschlossenes Festland. Um einen genaueren Unterschied zwischen Festland und Inseln festzusetzen, hat man angenommen, daß eine Insel höchstens 10 Grade der Länge oder der Breite einnehmen dürfe, oder daß eine Insel in höchstens Einem Monate müsse umschifft werden können. Der Boden des Meeres ist so wie die Oberfläche des festen Landes und der Inseln keineswegs vollkommen eben, sondern voller, wie es scheint unregelmäßiger, Erhöhungen. Die Inseln sind als Berge oder Bergebenen zu betrachten, welche so hoch über den Meeresgrund sich erheben, daß sie über die Oberfläche des Meeres emporragen. Dieselbe Bewandniß hat es mit den Klippen und Sandbänken, jene sind bis zur Oberfläche des Meeres emporragende Felsen, diese nicht ganz bis zur Oberfläche reichende Erhöhungen.

Ueber die Weite, bis zu welcher Reisende gegen die Pole der Erde zu vorgedrungen sind, s. d. Art. Eis, Polareis S. 54, 55. f. Man weiß weder von dem einen, noch von dem anderen Pole, ob er rings von Wasser (oder eigentlich Eis) oder von festem Lande umgeben sei. Früher glaubte man, daß sich das Eis nur am festen Lande bilden könne, und mußte daher um die ungeheure in den Polargegenden befindliche und von da aus in niedere Breiten kommende Eismenge zu erklären, annehmen, daß in der Nähe der Pole festes Land sich befinde, indeß haben Scoresby und andere die Nichtigkeit jener Bedingung der Eisbildung nachgewiesen, s. d. Art. Eis S. 51. Genauer noch als die Gegenden um den Südpol kennt man die um den Nordpol, indem man zahlreiche und wegen der Kälte und des Eises höchst mühevolle und gefährliche Expeditionen in jene Gegenden gemacht hat, um zu entdecken, ob ein offenes fahrbares Meer an den Küsten von Nordamerika — Nord-West-Passage — oder eine Durchfahrt an den Küsten von Sibirien — nordöstliche Durchfahrt — vorhanden sei, durch welche man auf kürzerem Wege von Europa aus nach Ostindien gelangen könne. Namentlich Roß, Parry, Hearne, Mackenzie und Franklin haben die Amerikanische, Wrangel und Anjou die Sibirische Küste in neuerer Zeit untersucht. Nach den Beobachtungen dieser Männer ist es sehr wahrscheinlich, (nach den erlangten Kenntnissen über die Sibirischen und Nordamerikanischen Küsten, nach den Strömungen in der Baffinsbai und der Beringsstraße, nach der Richtung und der Menge des gegen Süden zu treibenden Polareises, nach der von Parry bei der Insel Melville beobachteten Fluth), daß das Nordamerikanische Polarmeer von seinen Verbindungen mit der Baffins- und der Hudsonsbai an bis über die nördlichste Spitze Amerika's hinaus mit dem Sibirischen Polarmeere zusammenhänge, und demnach die Nordgrenze der nördlichen Halbkugel von einem zusammenhängenden Meere umflossen sei, welches zwischen Norwegen und der Ostküste Amerika's durch eine große, in der Beringsstraße durch eine schmälere Oeffnung mit den großen Oceanen zusammenhängt. Indeß ist es möglich, daß es jenseits des Sibirischen Meeres gegen den Nordpol noch Inseln oder gar ein Festland gibt.

Das Festland der Erde wird in fünf Welttheile eingetheilt, von denen drei: Europa, Asien, Afrika zusammen die sogenannte alte Welt

Digitized by Google

(weil diese drei schon im Alterthume bekannt waren), zwei: Amerika und Australien oder Neuholland (die erst seit dem Ende des 15. Jahrhunderts entdeckt worden) die Neue Welt ausmachen. Neuholland wird zuweilen als eine große Insel aufgeführt, ist aber nach den oben gegebenen Bestimmungen mit Recht ein Festland zu nennen. *) Die Inseln werden (mit einigen Ausnahmen) zu demjenigen Welttheile gerechnet, dem sie zunächst liegen. Die sogenannte Alte Welt wird rings vom Meere umflossen und vom nordwestlichen Amerika durch die enge Beringsstraße getrennt. Während aber Asien und Europa durch das Schwarze und Mittelländische Meer so wie gegen Osten durch das Uralgebirge geschieden werden, also in weiter Ausdehnung (über 300 Meilen weit) zusammenhangen, ist Afrika bis auf die schmale Landenge von Suez, welche es mit Asien verbindet, rings um vom Meere umgeben. Amerika wird durch die Meerenge von Panama in zwei große Ländermassen geschieden.

Jeder größte Kreis der als eine Kugel betrachteten Erde theilt diese in zwei gleiche Hälften, Halbkugeln oder (griech.) Hemisphären. Der Aequator scheidet die nördliche und die südliche Halbkugel, und es ist bemerkenswerth, daß eine Vergleichung dieser beiden Halbkugeln mit einander lehrt, daß bei weitem der größere Theil des festen Landes ($\frac{3}{4}$) auf der nördlichen Halbkugel sich befindet. Ganz Europa, ganz Asien und bei weitem der größere Theil von Afrika und Amerika liegen auf der nördlichen Halbkugel. Scheidet man durch den ersten Meridian die Erdkugel in die östliche und westliche Halbkugel, so liegt auf der östlichen Europa, Asien, Afrika und Australien, also bei weitem der größere Theil des festen Landes. Auf der westlichen Halbkugel dagegen liegen ganz Amerika, viele zu Australien gerechnete Inseln, die Insel Island (zu Europa gerechnet obschon näher an Amerika), ein kleiner Theil von Asien, und wenige zu Afrika gerechnete Inseln.

Da man die Länder um die Pole nicht genau oder gar nicht

---

*) Unter der Neuen Welt versteht man gewöhnlich nur Amerika. Da Australien (v. d. lat. auster der Südwind, also: Südland) noch später als Amerika, zum Theil erst in der neuesten Zeit entdeckt worden, so kann man es im Gegensatz gegen die Alte Welt (Asien, Afrika und Europa), und die Neue Welt (Amerika), die Neueste Welt nennen. Man hat Australien auch wegen der vielen zu ihm gehörigen Inseln (und wenn man auch Neuholland eine Insel nennt, so besteht es nur aus Inseln) Polynesien (v. d. griech. πολύς viel, νῆσος die Insel) genannt. Ferner hat man nach dem alten Sprachgebrauche, welcher die unbekannten Länder der Erde gegen Süden Indien nannte, das alte Indien Ostindien, Amerika Westindien, Australien Südindien genannt. Europa hat seinen Namen von d. griech. εὐρώπη dunkel, vergl. oben S. 262; Asia wurde so genannt von einer Gegend und Stadt am lydischen Kayster in Kleinasien; Afrika (früher Libya) soll aus dem Phönizischen kommen und Getraide-Land bedeuten; Amerika heißt so von Amerigo Vespucci, der nach dem zuerst von Columbus entdeckten Lande wiederholte Reisen machte.

Digitized by Google

kennt, so läßt sich mit völliger Genauigkeit nicht angeben, der wievielste Theil der Erdoberfläche Land, der wievielste mit Wasser bedeckt sei. Doch nimmt man im Allgemeinen an, daß $\frac{1}{4}$ der Erde Land, $\frac{3}{4}$ Meer sei. Die ganze Oberfläche der Erde zu 9260500 geogr. Quadr. M. angenommen, vertheilt sich das Land, zusammen 3059675 Quadr. M. auf die einzelnen Erdtheile wie folgt:

Europa	171834	Quadrat-Meilen.
Asien	641093	" "
Afrika	531638	" "
America	572110	" "
Neuholland	143000	" "
Alle Inseln	1000000	" "
Im Ganzen	3059675	Quadrat-Meilen.

Der Rand des festen Landes, wo dasselbe von dem Meere bespült wird, heißt die Küste, der Strand, das Gestade; ein zwei ausgebreitetere Landtheile mit einander verbindender, auf beiden Seiten vom Meere begrenzter Strich Landes wird eine Landenge genannt; ein schmaler vom festen Land aus in das Meer sich erstreckender Landstreifen heißt eine Land- oder Erdzunge; eine in das Meer hinein ragende gebirgige Landspitze ist ein Vorgebirge (Kap); ein fast rings vom Meere umflossenes nur durch eine Landenge mit dem Festlande in Verbindung stehendes Stück Land nennt man eine Halbinsel. Mehre nahe bei einander liegende Inseln bilden eine Inselgruppe, viele einen Archipel (v. d. griech. ἄρχω anhangen und πέλαγος Meer); in der Ostsee werden solche Anhäufungen von Inseln Scheeren genannt.

Die Inselgruppen scheinen zum Theil wenigstens Ueberbleibsel ausgedehnterer Ländermassen zu sein, welche das Meer bei einer der großen Erdrevolutionen, welche vor Zeiten stattgefunden haben müssen, größtentheils verschlungen hat. Eine solche Gruppe ist bei Europa der griechische Archipel; die größte Inselgruppe aber ist diejenige, welche zwischen Asien und Neuholland liegt und zu welcher Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Neuguinea, die Philippinen, die Molucken, die Banda-Inseln, weiterhin die Salomons-Inseln, die Carolinen, die Ladronen u. s. w. gehören. Zahlreiche Inselgruppen erstrecken sich von da noch weiter nach Amerika zu, wie Neuseeland mit den Südinseln, die Neuen Hebriden, die Freundschaftsinseln, Schifferinseln, Mendana's Archipel, Lord Mulgrave's Archipel, die Sandwichinseln u. v. a. Im Nordwesten von Amerika bilden die Aleutischen Inseln eine mächtige Inselgruppe, und zwischen Nord- und Südamerika, nordöstlich von der Landenge die Antillen. Zu Afrika werden die westlich gelegenen Inselgruppen der Azoren, der Canarischen Inseln, der Inseln des grünen Vorgebirges u. a. gerechnet.

Die Erscheinungen der Vulcane und der Erdbeben, die Bemerkung, daß der Einfluß der Sonnenwärme schon bei einer sehr geringen Tiefe in der Erde aufhöre, der Frost nicht tief eindringe, endlich der Thermometer in größerer Tiefe höhere Temperaturen als, abgesehen von dem Einflusse der Sonnenwärme, an der Oberfläche der Erde zeigt,

Digitized by Google

waren der Grund warum man eine mit der Tiefe zunehmende Wärme der Erde annahm, welche denn im Mittelpunkte der Erde einen außerordentlich hohen Grad erreichen müßte. Früher glaubte man daher, daß im Innern der Erde ein ungeheures Feuer brennen müsse, ein Centralfeuer (v. d. lat. centrum, Mittelpunkt); doch zeigte schon Gassendi, daß ein lebendiges Feuer in einem von der Luft abgeschlossenen Raume den Gesetzen der Natur nach nicht möglich sei. Mairan sprach daher nur von einer Grundwärme der Erde, welche im Innern der Erde 393 mal größer als die Wärme sei, welche die Sonne am kürzesten Tage in Paris hervorbringe. Büffon meinte, daß die Erde aus einem abgestoßenen Theile der Sonnenmasse entstanden und also ursprünglich eine glühende Masse sei, welche seitdem allmählig erkalte von Außen nach Innen, deren Kern aber noch glühe.

Eine andere Beobachtung, nämlich die, daß das Wasser des Meeres mit zunehmender Tiefe nicht wärmer, sondern kälter werde, veranlaßte eine der vorigen ganz entgegengesetzte Annahme, daß nämlich die ganze Erde eine von Kälte erstarrte Masse sei, welche nur an ihrer Oberfläche durch die Sonnenstrahlen erwärmt werde.

Es sind sowohl über die Temperatur des Wassers in verschiedenen Tiefen als auch über die Temperatur des Landes in verschiedenen Tiefen vielfache Untersuchungen angestellt worden, welche wohl in Bezug auf die Temperatur der äußersten Rinde aber keineswegs über die des eigentlichen Kernes der Erde Aufschlüsse geben.

Landseen haben, wie die Beobachtung gelehrt hat, in bedeutenden Tiefen eine constante (gleichbleibende) Temperatur von etwa 5 Grad C., indem das Wasser bei etwa 5° C. seine höchste Dichte erlangt hat und daher soweit erkältet immer zu Boden sinkt. So fand Sauſſure im Genfersee bei 900 F. Tiefe eine Temperatur von 5°,3 C.; de la Beche fand im Genfersee in 1 Toise Tiefe 15°, 6; in 10 Toisen 13°, 2; in 15 Toisen 10°, 9; in 20 Toisen 7°, 9; in 25 Toisen 7°, 1; in 30 Toisen 5°, 8; in 40 Toisen 5°, 1, und diese Temperatur blieb dieselbe bis zur Tiefe von 151 Toisen. Im Thunersee fand derselbe an der Oberfläche 15°, 5 C.; in 14 Toisen 5°, 5; in 98 Toisen 5°, 2; im Zugersee an der Oberfläche 15°, in 36 Toisen Tiefe 5° C. Humboldt beobachtete die Temperatur der Luft am Gestade des Bartholomäussee's in Berchtesgaden 17°, 7; über der Mitte des See's 16°; in 2 F. Tiefe 7°, 7; in 42 F. 6°, 2; in 60 F. 5°; in 84 F. an einer anderen Stelle 5°, 6.

Das Meer zeigt ein fortgehendes Abnehmen der Temperatur nach der Tiefe zu, ohne daß es jedoch bei einer Erkältung unter 0° zu Eis erstarrt, welches Horner mit Recht als eine Folge des Salzgehaltes ansieht. Vergl. d. Art. Eis. Peron beobachtete am 31. Aug. unter 69° N. Br. die Temperatur der Luft 7° C., des Meeres an der Oberfläche 3°, 6; in 1232 Meter Tiefe 0°. Am 20. Juni unter 67° N. Br. war die Temperatur der Luft 7°, die der Oberfläche des Meeres 0° und in 1430 Meter Tiefe eine Kälte — 2°, 7 C. Nach Horner tritt im Meere auf einer gewissen Tiefe eine constante Wärme ein. Folgende Zusammenstell unggibt dieselbe nach Graden R. und Faden zu 6 F. engl. nach den verschiedenen Breiten und Beobachtungszeiten an:

Digitized by Google

in der Südsee in 23° N. Br. in 120 F. = 13°, 3 im Juni
im Japan. Meere in 27° " " " 100 " = 14°, 3 " Nov.
im Atlant. " in 30° " " " 110 " = 13°, 5 " Juni
im Ochotzk. " in 53° " " " 15 " = −1°, 5 " Aug.

Einige Grade vom Aequator fand Cap. Wauchope die Temperatur der Oberfläche 23°; in 6000 engl. F. Tiefe 5°, 5. Roß fand die Temperatur des Meeres am 26. Juli unter 75°, 5 N. Br. an der Oberfläche 1°, 1; in 314 Faden Tiefe 0°; am 1. Sept. unter 73° 37′ an der Oberfläche 1°, 4; in 80 Faden 0°; in 250 Faden — 1°, 4; am 6. Sept. unter 72° 23′ N. Br. in 1005 Faden — 2°; am 19. Sept. unter 66° 50′ N. Br. in 100 Faden — 1°; in 200 Faden — 1°, 6; in 400 Faden — 2°, 3; in 660 Faden — 3°, 6; am 4. Octob. unter 61° 41′ in der Luft 2°, 8; an der Oberfläche 5°; in 950 Faden 2°. Sabine fand am 13. Nov. unter 20°, 5 N. Br. und 83°, 5 W. L. von Greenwich (erster Meridian) an der Oberfläche 28°, 2; in 1000 Faden Tiefe aber 9°, 7 und 7°, 5. Kotzebue fand in der Südsee unter 34° N. Br. im April in 250 Faden Tiefe 7°, 1; bei den Aleuten unter 36° N. Br. im Septemb. an der Luft 19°; an der Oberfläche des Meeres 18°; in 4 Faden Tiefe 17°, 9; in 8 Faden 17°, 3; in 25 Faden 11°, 5; in 50 Faden 9°, 8; in 100 Faden 8°, 6; in 408 Faden 4°, 4.

Die neuesten Beobachtungen über die Temperatur des Meeres sind von Lenz mit großer Vorsicht angestellt worden, und folgende sind die Resultate:

Nördliche Breite.	W. Länge v. Greenwich.	Tiefe in Toisen.	Corrigirte Temper. C.	Bemerkungen.
7°20′	21°59′	0	25,80	October 1823.
		539	2,20	Atlantischer Ocean.
21 14	196 1	0	26,40	Mai 1824.
		140,7	16,36	Südsee.
		413,0	3,18	
		665,1	2,92	
		914,9	2,44	
25 6	156 58	0	21,50	Februar 1825.
		167	14,00	Südsee.
32 6	136 48	0	21,45	August 1825.
		89,8	13,35	Südsee.
		214,0	6,51	
		450,2	3,75	
		592,6	2,21	
32 20	42 30	0	20,86	Mai 1826.
		1014,8	2,24	Atlantischer Ocean.
41 12	141 58	0	19,2	August 1825.
		205,0	5,16	Südsee.
		512,1	2,14	
45 53	17	0	14,64	Mai 1826.
		197,7	10,36	Atlantischer Ocean.
		396,4	9,95	

Digitized by Google

Der Einfluß der Temperatur der Luft auf die der Erde erscheint gegen die Größe des Erdkörpers als gänzlich verschwindend. Noch ehe man bis zu einer Tiefe von 100 F. in die Schale der Erde eindringt, ist fast jede Spur eines Einflusses der äußeren Temperatur verschwunden. Dagegen findet sich eine gleichbleibende Temperatur, welche nicht wie die der Atmosphäre wechselt. So befindet sich im Gewölbe unter der Pariser Sternwarte 86 Fuß tief unter der äußeren Erdoberfläche ein Thermometer, welches seit 1671 beobachtet worden ist, und immer dieselbe Temperatur anzeigt. Von mehren Naturforschern sind entsprechende Beobachtungen gemacht worden, und nach den von Muncke mit bis zu ungleicher Tiefe in die Erde eingesenkten Thermometern angestellten, reichen die Einflüsse der täglichen Temperaturveränderungen bis 1, 5 F. unter die Oberfläche und verschwinden bei 3 F., die monatlichen reichen bis 3 F. und fangen an bei 5 F. zu verschwinden, wornach die jährlichen bis etwa 30 F. Tiefe reichen würden. Das Wasser der wässrigen Lufterscheinungen (Thau, Regen, Schnee u. s. w.), welches bald kälter bald wärmer ist, muß, indem es tiefer als 30 Fuß in die Oberfläche der Erde eindringt, indem es sich vermischt und indem es die constante Wärme der tieferen Erdschichten annimmt (welche wiederum durch jene bedingt werden mag) eine Temperatur annehmen, die um so constanter sein wird, je tiefer das Wasser, ehe es als Quellen wieder zum Vorschein kommt, in die Erde einsinkt, und, indem es in Quellen zum Vorschein kommt, eine Temperatur des Ortes anzeigen, welche der mittleren Temperatur des Ortes (bei deren Bestimmung also auch von allen die Temperatur erhöhenden oder erniedrigenden Zufälligkeiten abgesehen ist) gleichkommt. Die Beobachtungen der berühmtesten Naturforscher bestätigen diese Bemerkung, nach v. Humboldt ist jedoch die Temperatur der Quellen unter höheren Breiten etwas geringer, unter niederen etwas höher als die mittlere der Oerter.

Ueber die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe sind in neuerer Zeit seit v. Sauſſure viele interessante Beobachtungen angestellt worden, von denen ich nur einige anführen will, um im Allgemeinen einen Beleg zu geben, und einen Begriff von der Art und Weise dieser Zunahme. Sauſſure fand in den Salinen von Bex in einer Tiefe von 332 F. 14°, 4 C.; von 564 F. 15°, 6; von 677 F. 17°, 4. D'Aubuiſſon stellte Beobachtungen in den Minen von Freiberg an und zwar am Ende des Winters von 1802, in dem das Thermometer bis auf — 18° C. sank, zur Zeit der Beobachtungen aber über der Oberfläche der Erde — 3 bis 4° C. zeigte. Freiberg liegt unter 51° N. Br. und 400^{m} über dem Meeresspiegel, die mittlere Temperatur ist 8 bis 9° C. In folgender Tabelle sind d'Aubuiſſons's Beobachtungen zusammengestellt, die Grade sind nach C. bestimmt.

Digitized by Google

Tiefen in Metern.	Beschert Glück.	Himmelfahrt.	Kühschacht.	Jung-Hohe-Birke.
0	8	8	8	8
100	. . . .	10	. . . .	10
120	9,5	. . . .	. . . .	11
160	. . . .	. . . .	. . . .	12,5
180	. . . .	12,5	. . . .	. . . .
200	. . . .	. . . .	. . . .	14
220	12,5	. . . .	12,5	. . . .
240	. . . .	. . . .	. . . .	15
260	14,5	14,5	14	. . . .
280	. . . .	. . . .	. . . .	16
300	15,5	. . . .	16	. . . .
330	. . . .	. . . .	. . . .	17

Bei 220 und 260 Meter Tiefe wurde die Temperatur durch Wasser bestimmt, welches aus einer etwas größeren Höhe herabkam, dasselbe zeigte sich im Mai und im Januar gleich; stehendes Wasser in einer Tiefe von 260 Meter zeigte eine Temperatur von 15° C. Die Versuche zeigen, daß die Temperatur der Minen in Freiberg in einer Tiefe von 300^{m} die Temperatur der Oberfläche um etwa 8° übertreffe.

Noch sorgfältigere und weiter ausgedehnte Versuche stellte v. Trebra an, und glaubte sich aus denselben zu dem Schlusse berechtigt, daß die Temperatur auf jede 120 F. Tiefe um 1° C. sich erhöhe. Hiernach würde schon bei einer Tiefe von 52 Meilen die Erde eine Hitze haben müssen, welche der Schmelzhitze des Eisens gleich wäre. Forbes und Fox fanden in Minen in Cornwallis eine Zunahme der Temperatur um 1° C. auf ungefähr 36 Fuß Tiefe. Die zahlreichen Versuche von Fox sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei die Veränderlichkeit der Zunahme der Temperatur leicht erklärbar ist, wenn man bedenkt, daß das Wasser leicht zum Orte der Beobachtung entweder aus höher gelegenen Orten herab oder aus niedriger gelegenen Orten herauf kommen könne, auch diese und andere mannigfachen Einflüsse (die Gegenwart der Arbeiter und der Grubenlichter in den Minen, das Abbrennen von Schießpulver) die Temperatur der Luft unberechenbar modificiren müssen, so daß nicht ein regelmäßiges Zunehmen der Temperatur aus den Beobachtungen sich ergeben könne.

Digitized by Google

Temperatur im Innern.

Tiefe in Fathom's.	Temperatur des Waſſers.	Temperatur der Luft.
20	14°, 4 C.	13, 3
40	13, 3; 15, 6; 12, 2	13, 9; 15, 6
60	15, 6; 16, 7; 14, 4	16, 1; 16, 7; 15, 6
80	17, 8; 16, 7	18, 3; 17, 8
100	18, 3	18, 9
110	17, 8; 18, 9	18, 3; 18, 9
120	19, 0; 18, 9	20, 0
130	22, 2; 23, 3; 17, 2	22, 7; 23, 3; 16, 7
140	25, 5; 21, 1	25, 5; 22, 2; 27, 1; 23, 8
150	24, 4; 26, 7	22, 2; 26, 7
160	18, 9	22, 8
170	18, 0; 25, 0; 28, 9	18, 9; 24, 4
180	22, 2; 20, 5; 30	23, 3; 22, 2; 31, 0

Sehr bemerkenswerth ſind ferner die von Fantonetti in den Minen von Peſtarena di Macugnana im Thale Anzasca angeſtellten Beobachtungen, welche theils im Winter, theils im Sommer vorgenommen und bei denen die Thermometer ſo angebracht wurden, daß ſie ſowohl die Temperatur der Felſen als des auf den Gallerien ſich ſammelnden Waſſers gaben. Beobachtungen vom 13. März, wo die Temperatur im Freien 3°, 8 C. war. ſind folgende:

Tiefe.	Wärme der Felſen.	Waſſer der Gallerie.
0	— —	10°, 3
50 Met.	5°, 1	10, 2
100 —	7, 5	11, 3
150 —	10, 0	12, 5
250 —	11, 3	13, 7
350 —	13, 1	14, 2
450 —	15, 0	13, 7
702 —	16, 3	16, 5

Am 6. Aug. erhielt Fantonetti bei einer äußeren Temperatur von 20°, 0 C. in den Minen folgende Beſtimmungen:

Tiefe.	Wärme der Felſen.	Waſſer der Gallerie.
0	— —	12°, 5
50 Met.	12, 5	12, 0
100 —	12, 0	—
150 —	12, 0	—
250 —	12, 2	—
350 —	13, 1	—
450 —	15, 0	13, 7
702 —	16, 3	—

Digitized by Google

In den Minen von Neuſpanien fand v. Humboldt zwiſchen 500 bis 770 F. 23°, 7 bis 27°, 6; in 1540 F. Tiefe 33°, 8 C. Bei einer anderen Grube war die Temp. oben 20°, 8, bei 582 F. Tiefe dagegen 33°, 7; in den Minen von Villalpando oben 22°, 4 und bei 412 F. Tiefe 29°, 4.

Außer dieſen direct in verſchiedenen Tiefen angeſtellten Beobachtungen, ſprechen auch noch andere bekannte Erſcheinungen für eine der Erde eigenthümliche, nicht durch den Einfluß der Sonnenſtrahlen erzeugte Wärme. Hierher gehört das Fortrücken der Gletſcher (ſ. d. Art. Eis S. 64), welches die offenbare Folge eines Aufthauens der Gletſcher auf ihrem Grunde, da wo ſie mit der Erdoberfläche in Berührung ſtehen, iſt, wohin aber von Außen wegen des Gletſchers ſelbſt keine Wärme dringen kann. Ferner beſtätigen dieſes die heißen Quellen, und mehr noch (denn man könnte eine Erwärmung dieſer durch vulkaniſche Heerde annehmen) alle gewöhnlichen aus größeren Tiefen kommenden Quellen, namentlich die arteſiſchen Brunnen, welche eine Sommer und Winter ſich gleichbleibende, die mittlere Wärme des Ortes meiſt überſteigende Temperatur zeigen. Die angeführten Beobachtungen berechtigen indeß noch keineswegs zu dem Schluſſe, daß die Wärme im Innern der Erde gleichmäßig bis zum Mittelpunkte der Erde zunehme, es wäre ſehr leicht möglich, daß nur bis zu einer gewiſſen Tiefe eine Wärmezunahme ſtattfände, die bisherigen Beobachtungen und Kenntniſſe reichen nicht einmal hin die eine oder die andre dieſer Möglichkeiten wahrſcheinlicher zu machen. Zwar haben angeführter Maßen verſchiedene Phyſiker aus ihren Beobachtungen Schlüſſe auf die Zunahme der Temperatur gemacht und angenommen, daß bei gleicher Entfernung von der Oberfläche gleiche Temperaturen herrſchen müßten, aber geſetzt es fände eine regelmäßige Abnahme der Temperatur von dem Mittelpunkte der Erde ab ſtatt, ſo würden zwar gleichweit von dieſem Mittelpunkte abſtehende Orte gleiche Temperatur haben müſſen, nicht aber (wegen der Unebenheit der Erdoberfläche, die bei in ſo geringe Tiefen gehenden Beobachtungen allerdings in Betracht kommt) Orte, die gleichweit von der Oberfläche abſtehen. Man müßte, um das Geſetz der Wärmezunahme zu beſtimmen, die Temperatur gleich tief unter dem Meeresſpiegel liegender Punkte beſtimmen, aber nur wenige Gruben gehen bis unter die Meeresoberfläche und dieſe nur bis zu ſehr geringen Tiefen unter dieſelbe. Ausgemacht ſcheint nur ſo viel, daß die Erde eine ſo weit unſere Beobachtungen reichen, mit der Tiefe zunehmende, eigenthümliche Wärme habe; welches aber die eigentliche mittlere Wärme des Erdkörpers ſei, und ob die Wärme regelmäßig bis zum Mittelpunkte zunehme oder nicht, wiſſen wir nicht. La Place hat indeß durch eine leicht verſtändliche Betrachtung erwieſen, daß ſich ſeit vielen Jahrhunderten die mittlere Temperatur des Erdkörpers weder erhöht noch vermindert haben könne. Da nämlich bekanntlich das Volumen eines Körpers durch ſeine Temperatur bedingt wird (die Wärme ausdehnend auf alle Körper wirkt), ſo müßte auch bei der Erde eine Temperaturveränderung eine Veränderung des Volumens zur Folge haben. Die nothwendige Folge von dieſer wäre aber wieder eine Ver-

Digitized by Google

änderung ihrer Rotation (Axendrehung). Nach La Place's Berechnung würde eine Verminderung der mittleren Erdwärme von 1° C. eine Verminderung der Rotation von zwei Centesimalsecunden bewirken. Es ist aber bewiesen, daß die Erde seit Hipparch (um 150 n. Chr. Geb.) ihre Rotation noch um nicht $\frac{1}{100}$ Sec. verändert habe; also, schließt La Place, kann sich auch nicht das Volumen, also auch nicht die mittlere Erdwärme verändert haben.

Was nun weiter die Temperatur der Oberfläche der Erde betrifft, so stimmt dieselbe im Allgemeinen mit der der zunächst über ihr befindlichen Luft überein, denn gesetzt auch daß ein Unterschied stattfände, so würde sich derselbe alsbald durch wechselseitige Mittheilung ausgleichen. Man bestimmt daher die Temperatur der Erdoberfläche gewöhnlich nach der, welche ein über ihr im Schatten befindlicher Thermometer angibt. Ein bedeutender Unterschied indeß findet dann statt, wenn die Erde gleichzeitig mit der sie berührenden Luft dem directen Einflusse der Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, denn in diesem Falle erhizt sich bekanntlich der dichtere Körper (die Erde) bei weitem stärker als der dünnere (die Luft). Daher kommt die außerordentliche Hitze des Sandes in Wüsten und sandigen Gegenden, wenn die Sonne ihn unmittelbar bescheint, welche weit größer als die der umgebenden Luft ist. Wenn aber allein die Sonne der Grund der Temperatur der Erdoberfläche wäre, so müßte die mittlere Temperatur der auf demselben Parallelkreise gelegenen Orte (nachdem man den Einfluß der verschiedenen Erhebung über die Oberfläche des Meeres in Anrechnung gebracht) durchaus dieselbe sein, indem dieselbe allein nach der größeren oder geringeren Schiefe, in welcher die Sonnenstrahlen auffallen, sich richten müßte, in dieser Beziehung aber unter demselben Parallelkreise liegende Orte unter denselben Verhältnissen stehen. Dieses ist jedoch keineswegs der Fall, und die Formeln, nach denen man unter jener Voraussetzung die mittleren Temperaturen berechnet hat, geben mit den Beobachtungen häufig nicht übereinstimmende Versuche. Man sollte ferner vermuthen, daß Orte, die von dem Südpole eben so weit wie andere Orte vom Nordpole abstehen, gleiche mittlere Temperatur mit diesen haben sollten, allein auch hiergegen streiten die Erfahrungen. Ueber die größere Kälte des Südpoles gegen den Nordpol ist in d. Art. Eis S. 55. gesprochen. Bellinghausen fand unter 54° S. Br. in Neu-Georgien im Monat December (dem dasigen Sommer) alles mit Schnee bedeckt und die Buchten voll Eis, wie anders ist dagegen die Temperatur unter 54° N. Br. etwa in Danzig. Derselbe konnte wegen des Eises nur bis 69° 30′ S. Br. vordringen, während auf der nördlichen Halbkugel Reisen bis zu 80° N. Br. keine Seltenheit sind und Scoresby bis 81° 30′ vorgedrungen ist. Die Eismassen aus dem südlichen Polarmeere kommen bis zum 60. und 49. Grade der Breite, unter welchem Grade nördl. Breite Boulogne und Abbeville liegen. Das Feuerland ist bekanntlich mit ewigem Schnee bedeckt, und doch liegt dasselbe (unter 55° S. Br.) dem Südpole nicht näher als Preußen dem Nordpole. Dieser Unterschied tritt desto stärker hervor, je weiter ab die entsprechenden Parallelkreise vom Aequator liegen, wie folgende Zusammen-

Digitized by Google

stellung der auf dem Meere beobachteten Wärme nach v. Humboldt zeigt:

Breite.	Correspondirende Monate. *)	Mittlere Temperatur. südliche Halbk.	nördl. Halbk.
0°—15°	December Junius	28°, 0 — — —	— — — 28°, 5
18°	October April	— — — 27°, 5	26°, 5 — — —
22°—26°	Januar Julius	— — — 22°, 5	19°, 3 — — —
	September März	— — — 20°, 8	20°, 5 — — —
31°	December Junius	— — — 13°, 8	15°, 4 — — —
	Februar August	— — — 16°, 8	17°, 0 — — —
43°	Julius Januar	— — — 15°, 2	18°, 2 — — —
48°	Junius December	— — — 7°,	17°, 7 — — —
58°	Julius Januar	— — — 6°, 2	13°, 5 — — —

Als einzig mögliche Ursache dieser Verschiedenheit der südlichen Halbkugel von der nördlichen kennen wir die, daß erstens die südliche Halbkugel 8 Tage kürzere Sommer als die nördliche Halbkugel hat, wovon der Grund der ist, daß die letztere im Winter der Sonne um 672000 Meilen näher kommt; und daß zweitens die nördliche Halbkugel bei weitem mehr Land als die südliche hat, und deßwegen mehr Wärme entwickelt wird.

Aber auch nicht die unter demselben Parallelkreise auf derselben Halbkugel liegenden Orte haben nach Abzug des Einflusses ihrer Er-

*) In Bezug auf die Jahreszeit.

Digitized by Google

hebung über die Meeresoberfläche dieselbe Temperatur. Mehr noch als in der nördlichen Halbkugel findet eine regelmäßig mit den Breitengraden zunehmende Temperatur auf der südlichen Halbkugel statt, welches seinen Grund in dem weit ausgebreiteten Wasser der südlichen Halbkugel haben mag, durch welches die Wärme leicht mitgetheilt wird und Verschiedenheiten ausgeglichen werden. Auffallend aber ist die hohe Temperatur des Nordens von Europa gegen den Norden von Sibirien und mehr noch gegen den Norden von Amerika. Norwegen, Lappland und Finnland haben eine weit höhere Temperatur als alle unter gleichen Breiten gelegenen Gegenden, der nördlichen Halbkugel sowohl als der südlichen. Diese höhere Temperatur geht offenbar nicht von der Sonne aus, sondern vom Innern der Erde. Es findet sich an vielen Orten Gras unter dem Schnee, in verwahrten Kellern friert es nicht, wovon an anderen Orten desselben Parallelkreises das Entgegengesetzte stattfindet. Am auffallendsten ist die starke Kälte von Nordamerika, wie die von Parry und Franklin gemachten Beobachtungen zeigen. Unter anderem beobachtete Parry in Melville unter 74° N. Br. am 26. Sept. schon — 15°, 75 C., im Jan. einmal 17 Stunden anhaltend — 45°, als größte Kälte aber — 48°, 5. Sogar im Juni zeigte das Thermometer einmal — 2°, im August — 5°, 6, und nur im Juli kam die Temperatur nicht unter 0°. Franklin beobachtete auf dem Festlande unter 64° 30′ N. Br. und 112 W. L. von Greenwich sogar — 49°, 3 C.

Muncke macht in Bezug auf die bedeutende Temperaturverschiedenheit des Nordens von Europa verglichen mit gleichen Breiten von Asien und Amerika darauf aufmerksam, wie nicht die starke Kälte in Amerika und Asien das Räthselhafte sei, sondern vielmehr diese als das der Regel gemäße, als die natürliche Temperatur zu betrachten, und nur der Grund aufzusuchen sei, warum Europa eine Ausnahme mache. Muncke findet die vorzüglichste Ursache zu dieser Temperaturerhöhung in der individuellen Strömung des großen Ocean. Unter allem Wasser des Meeres ist dasjenige das heißeste, welches der Golphstrom, der seine Wogen im Mexikanischen Meerbusen zusammendrängt, mit sich führt. Der Strom ist so wasserreich, daß die große Wärme desselben noch auf 80 bis 100 Faden Tiefe bemerklich ist. Vom Mexikanischen Meerbusen aus nimmt die Strömung ihre Richtung nach den europäischen Küsten. Die Fluthen wirken alsdann auf eine doppelte Weise, zuerst indem sie den Erdboden von unten auf fortwährend erwärmen, und zweitens indem die aufsteigenden heißen Dämpfe als warmer Regen niederfallen. Zur Bestätigung dieser Meinung macht Muncke darauf aufmerksam, daß letzterer der Regel nach durch westliche, südwestliche und nordwestliche Winde herbeigeführt werde, auch heftige Stürme meistens im atlantischen Ocean ihren Ursprung haben. Auf eben diese Ursache bezieht derselbe auch die vielen Stürme, lauen Winde, warmen Winterregen und Wintergewitter (— Thauwinde —), auch den niedrigen Barometerstand an der Norwegischen Küste. Die Erwärmung des Bodens von unten durch das aller Orten anspülende wärmere Wasser bestätigt Muncke durch Scoresby's Beobachtungen, daß

Digitized by Google

das Wasser des Meeres selbst bis zur Westküste von Spitzbergen hinauf in der Tiefe an Wärme bedeutend zunimmt, wovon auch nach Scoresby's Ansicht die Ursache in nichts anderem als in Strömungen liegen kann, durch welche das wärmere Wasser herbeigeführt wird. Auch sollen nach v. Chamisso die von Africa's brennenden Sandebenen aufsteigenden und seitwärts abfließenden erhitzten Luftmassen zur Erwärmung des nördlichen Europa's viel beitragen. — Uebrigens ist es auch sehr wohl möglich, daß die eigenthümliche Wärme der Erde diese Modification der Temperatur herbeiführe, welches wahrscheinlich wird, wenn man an die im Norden von Europa mächtigen Vulkane auf Island denkt, welche die deutlichsten Zeichen einer bedeutenden unterirdischen Erhitzung sind.

Da die Linien, welche die Parallelkreise auf der Erdoberfläche angeben, nicht zugleich über diejenigen Orte gehen, welche gleiche mittlere Temperatur haben, so hat A. v. Humboldt über diejenigen Orte, welche dieselbe mittlere Temperatur haben (nachdem die Unterschiede durch die verschiedene Erhebung über den Meeresspiegel in Anrechnung gebracht), Linien gelegt, und dieselben genauer bestimmt. Diese Linien nennt v. Humboldt isothermische Linien (v. d. griech. ἴσος gleich und θερμός warm), Fig. 119. gibt dieselben an und sie sind leicht verständlich. Im alten Continent (Europa, Asien, Afrika) ist die Wärmeabnahme nach den Polen zu bei weitem geringer, als im neuen (Amerika); wie folgende Zusammenstellung von v. Humboldt zeigt.

Von	0°	bis	20°	im alten Cont.	=	2°	im neuen Cont.	=	2°
"	20°	"	30°	"	"	"	=	4°	"	"	"	=	6°
"	30°	"	40°	"	"	"	=	4°	"	"	"	=	7°
"	40°	"	50°	"	"	"	=	7°	"	"	"	=	9°
"	50°	"	60°	"	"	"	=	5°,7	"	"	"	=	7°,9

Folgende Tabelle gibt die Breiten und mittleren Temperaturen einiger bekannten Orte an; wenn man ihre mittlere Temperatur mit ihrer geographischen Lage vergleichen will, so muß man noch auf ihre Erhöhung über die Meeresfläche und auf andere locale Einflüsse auf die Temperatur Rücksicht nehmen.

Digitized by Google

Orte.	N. B.	Temperatur.
Guyana	0° 0′	28°,1
Cuma	10 28	27 ,7
Batavia	6 12 S.	26 ,9
Madras	13 5	26 ,9
Senegambia	14 40	26 ,6
Vera Crur	19 12	25 ,6
Havana	23 9	25 ,6
Manilla	14 36	25 ,6
Cairo	30 2	22 ,4
St. Croix di Teneriffa	28 28	21 ,9
Algier	36 50	21 ,0
Neapel	40 50	18 ,0
Paramatta	33 49	17 ,3
Rom	41 54N.	15 ,8
Marseille	43 17	14 ,3
Mailand	45 29	13 ,2
Philadelphia	39 57	12 ,9
St. Malo	48 39	12 ,5
Newyork	40 43	12 ,1
Peking	39 54	12 ,6
Amsterdam	52 22	11 ,9
Paris	48 50	11 ,9
Franecker	52 36	11 ,3
Buda	47 30	10 ,6
Cork	51 54	10 ,6
Straßburg	48 35	10 ,5
Wien	48 11	10 ,3
Mannheim	49 39	10 ,2
London	51 31	10 ,0
Prag	50 5	9 ,9
Genf	46 12	9 ,6
Dublin	53 21	9 ,6
Eniscoo	54 48	9 ,3
Sala	59 50	9 ,3
Warschau	52 14	9 ,2
Berlin	52 32	9 ,1
Bellycastle	55 12	8 ,9
Edinburg	55 56	8 ,8
Göttingen	51 32	8 ,3
Koppenhagen	55 41	7 ,6
Delf	52 1	7 ,5
Christiania	59 55	5 ,9
Williamstown	— —	5 ,9

Digitized by Google

Orte.	N. B.	Temperatur.
Stockholm	59° 20′	5°,8
Upsala	59 52	5 ,5
Quebeck	46 48	5 ,5
Abo	60 27	5 ,2
Moscau	55 45	4 ,5
Drontheim	63 26	4 ,4
Petersburg	59 56	3 ,8
Torneá	65 51	3 ,0
Wadsoë	70 20	2 ,2
Umeo	63 49	0 ,7
Uleo	65 0	0 ,6
Epafiord	66 30	0 ,6
Nordcap	71 10	0 ,0
Cumberland Houſe	54 0	— 0 ,5
Enontekis	68 17	— 2 ,8
Nain	57 8	— 3 ,1
Fort Enterpriſe	64 30	— 9 ,2
Winter Island	66 12	— 12 ,5
Ingloolik Island	69 30	— 13 ,9
Melville Island	75 00	— 18 ,5

Die mittleren Temperaturen der einzelnen Orte ſcheinen ſich wenigſtens längere Zeiten hindurch gleich zu bleiben, wie aus einer Vergleichung hervorgeht, die Libri vorgenommen hat. Derſelbe hat nämlich gefunden, daß die mittlere Temperatur von Florenz, welche ſich aus den neueſten ſeit 1820 angeſtellten Beobachtungen ergibt, faſt ganz genau mit derjenigen übereinſtimmt, welche ſich aus den vor 150 Jahren während eines Zeitraumes von 16 Jahren von Raineri angeſtellten Beobachtungen ergibt.

Es iſt ſchon oben angegeben worden, daß die Temperatur der Quellen an einem Orte ziemlich genau mit der mittleren Temperatur des Bodens übereinſtimmen. Kupffer macht darauf aufmerkſam, daß die Temperatur der Quellen in bergigen Gegenden keine ſo ſichere Anzeige von der Temperatur des Bodens geben können, als die Quellen des flachen Landes, weil die erſten ihren Urſprung von Höhen haben können, wo ſie dann eine tiefere Temperatur zeigen, als ihnen nach der Lage des Ortes, wo ſie ſich befinden, zukommen würde. Auch Quellen, welche aus einem ſumpfigen Boden kommen, ſind zur Beſtimmung der Bodenwärme nicht geeignet, weil ihre Temperatur durch Vermiſchung mit dem ſtagnirenden und der Wirkung der Luft ſtets ausgeſetzten Sumpfwaſſer verändert wird. Die Quellentemperatur bleibt ſich ſo wenig wie die mittlere Wärme der Luft unter demſelben Parallelkreiſe gleich. Wenn man nach Kupffer durch alle Punkte, welche dieſelbe

Digitized by Google

Quellen- oder Bodentemperatur haben, Linien zieht, so ähneln diese Linien, welche Kupffer Isogeothermen nennt, (v. d. griech. ἴσος gleich, γῆ Erde, und θερμός warm) den Isothermen (welche sich auf die mittlere Temperatur der Luft beziehen) darin, daß sie mit den Parallelkreisen nicht zusammenfallen, weichen aber auch von ihnen vielfach ab. Mit der Zunahme der geographischen Breite nimmt die Bodenwärme, (wie die mittlere Wärme der Luft) ab, aber auf eine regelmäßige Weise. Die Abnahme der Wärme vom Aequator nach den Polen zu geschieht desto rascher, je näher man sich dem Parallelkreise von 45° nähert; höher hinauf geschieht sie wieder minder rasch. Hieraus, meint Kupffer, läßt sich der von Humboldt bemerkte Umstand erklären, warum sie (die Quellentemperatur) in niedrigen Breiten niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur. Diese nämlich nimmt bis 20° Br. sehr wenig ab; die Bodenwärme also, die bis dahin immerfort abnimmt, muß in diesen Breiten geringer sein, selbst wenn sie am Aequator eben so groß war, als die mittlere Wärme der Luft. Bei einer mittleren Breite endlich holt die Bodenwärme die mittlere Wärme der Luft wieder ein, da die erstere nicht so rasch abnimmt als die letztere. In höheren Breiten endlich schreitet aus demselben Grunde die Bodenwärme der mittleren Wärme der Luft voraus. Hinsichtlich der Quellentemperatur am Aequator findet man, daß diejenigen Punkte, die auf meerbespülte Küsten oder Inseln fallen, eine niedrigere Temperatur haben als diejenigen, die sich mitten in einem großen Continente befinden. Der wärmste Punkt des Aequators befindet sich im Innern von Africa; im Norden dieses Punktes, wenigstens in Breiten, die nicht über 50° gehen, haben die Isogeothermen eine starke Beugung nach Norden. Der kälteste Bodenpunkt des Aequators liegt wahrscheinlich zwischen 80° westlicher und 60° östlicher Länge (von Paris) im großen Ocean zwischen der Westküste von Africa und der Ostküste von America; von hier aber nimmt die Bodentemperatur nach Osten und nach Westen rasch zu. Kupffer meint endlich, daß es wahrscheinlich sei, daß weder die kälteste Bodentemperatur mit dem Pole, noch die wärmste Isogeotherme mit dem Aequator zusammenfalle.

Ueber die Temperatur der die Erde ringsumgebenden Luft, welche sowohl regelmäßigen als unregelmäßigen Schwankungen unterworfen ist, s. d. Art. Temperatur.

Ueber die Abnahme der Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe sind sehr viele, aber keineswegs ein übereinstimmendes Resultat gebende Versuche angestellt worden. Man hat sich im Allgemeinen bemüht anzugeben bei wieviel Fuß oder Meter ꝛc. Erhöhung die Temperatur um 1° sinke. Der Grund des Nichtübereinstimmens der durch die Beobachtungen in dieser Beziehung erhaltenen Resultate ist leicht zu erkennen. Die Temperatur der Luft in größerer Höhe ist zwar weniger, aber dennoch immer noch bedeutend genug vielfachen Veränderungen unterworfen, so wie die der zunächst an der Erdoberfläche liegenden Luft, indem sich die erwärmteren unteren Luftschichten in die Höhe erheben. Ohne dieses Aufsteigen der erwärmten Luftschichten, würde die Temperatur der unteren Luft eine unerträgliche Höhe erreichen. De

Digitized by Google

Sauſſure ließ die Sonnenſtrahlen anhaltend in ein mit ſchwarzem Kork gefuttertes, durch mehre horizontale, ſehr durchſichtige Glasſcheiben gegen das Aufſteigen der Luft geſchütztes Gefäß fallen, und beobachtete eine Temperaturerhöhung bis 120° C. Den Wechſel der Temperaturen in höher gelegenen Luftſchichten hat man an hochgelegenen Orten direct beobachtet; und er iſt ſehr bedeutend. So hat man auf dem Hospiz des St. Bernhard in 7680 F. Höhe + 17° und — 27° R. beobachtet, demnach einen Unterſchied der Temperaturen von 55° C.; Ramond ſchätzt den Unterſchied der höchſten und niedrigſten Temperatur auf dem Pic du Midi bei 1500 T. Höhe nach ſeinen Beobachtungen etwa 45° C. Den Einfluß der Jahreszeiten auf die Temperatur höherer Luftſchichten hatte Guérin bei häufig von ihm angeſtellten Beſteigungen des Berges Ventoux bei Avignon zu beobachten Gegelenheit. Derſelbe fand, daß um eine Temperaturverminderung von 1° R. zu erhalten, eine Erhebung nöthig war:

im Sommer von	80 Toiſen,
im Winter von	100 Toiſen,
in den Zwiſchenjahreszeiten von	90 Toiſen.

Auch die täglichen Temperaturveränderungen werden in hochgelegenen Orten wahrgenommen. Berechnet man nämlich die Höhen in welchen eine Temperaturverminderung um 1° ſtattfindet, ſo ergeben ſich verſchiedene Größen für die verſchiedenen Stunden. De Sauſſure hat 16 Tage lang im Monat Juli auf dem Col de Géant in einer Höhe von 3400 Meter Verſuche angeſtellt und folgende Zuſammenſtellung der Höhen, bei denen ein Temperaturunterſchied um 1° C. ſtattfand, für die verſchiedenen Stunden erhalten:

Stunden.	Höhen.	Stunden.	Höhen.
Mitternacht.....	171 Met.	Mittag.....	148 Met.
2 Uhr.....	189 —	2 Uhr.....	140 —
4 —.....	210 —	4 —.....	142 —
6 —.....	195 —	6 —.....	141 —
8 —.....	180 —	8 —.....	143 —
9 —.....	160 —	10 —.....	157 —

Nimmt man aus dieſen Beſtimmungen das Mittel, ſo würde im Allgemeinen eine Temperaturverminderung um 1° C. bei 158 Meter oder 81,1 Toiſen Erhebung ſtattfinden. In bedeutenderen Höhen, als diejenigen ſind, welche wir zu erreichen vermögen, wird aber gewiß der Einfluß der von unten aufſteigenden warmen Luftſchichten immer geringer und verliert ſich endlich ganz. De Sauſſure nimmt daher an, daß die täglichen Temperaturverſchiedenheiten und endlich auch die jährlichen Unterſchiede der Temperatur in der Höhe der Atmoſphäre aufhören. v. Zach iſt der Meinung, daß in einer Höhe von 5693 T. über der ganzen Erdoberfläche die Temperatur durchgängig gleich ſei.

Wenn es gewiß iſt, daß die wichtigſte Urſache der Temperaturerhöhung in den erwärmten von der Erde aufſteigenden Luftſchichten zu ſuchen iſt, ſo leuchtet ein, wie die Beſchaffenheit des Bodens von großem Einfluſſe auf die Temperatur der über ihm lagernden Luft bis zu einer bedeutenden Höhe ſein müſſe; und wie daher auch unter derſelben Breite Be-

Digitized by Google

stimmungen über die Wärmeabnahme nach Beschaffenheit der verschiedenen Orte sehr verschiedene Resultate geben müssen. Ueber den Sandwüsten Africas und Asiens wird die Luft bis zu einer bedeutenden Höhe noch eine höhere Temperatur haben, als über dem Meere oder über schneebedeckten Gebirgen. Prechtl zeigt endlich aus den von Gay-Lussac bei seiner Luftreise gemachten Beobachtungen, daß die besondere Beschaffenheit der Luftströmungen und Winde die Wärmeabnahme in zunehmenden Höhen modificiren müsse. Solche Luftströmungen, so wie das Aufsteigen erwärmter Luftschichten, wenn bald darauf der Boden und die auf ihm zunächst ruhenden Luftschichten abgekühlt werden, können im einzelnen (aber als Ausnahme zu betrachtenden) Fällen sogar ein Zunehmen der Temperatur von unten nach oben bis zu einer gewissen Höhe zur Folge haben.

Diejenigen Beobachtungen, welche Ersteiger von hohen Bergen gemacht haben, geben schon darum kein als allgemein gültig anzusehendes Gesetz der Wärmeabnahme mit zunehmender Höhe, weil die Berge selbst auf die über ihnen lagernden Luftschichten von einem Einfluß sind, demgemäß im Allgemeinen die Temperatur der höheren Gegenden höher sein wird, als sie beim nicht Vorhandensein der Berge sein würde. Besondere Berücksichtigung verdienen in dieser Hinsicht diejenigen Beobachtungen, welche von Luftfahrern in höheren Regionen der Luft angestellt worden. Gay-Lussac's Beobachtungen sind indeß wohl die einzigen in dieser Beziehung gemachten, welche mit der erforderlichen Genauigkeit angestellt sind. Derselbe erhob sich im Luftballon bis zu einer Höhe von 7000 Meter, und nach allen bis zu dieser Höhe angestellten Beobachtungen würde die Temperatur im Durchschnitt bei 173 Meter (88,76 Toisen) Erhebung um 1° C. sinken. Von der Oberfläche der Höhe bis zu einer Höhe von 3691 Met., fand Gay Lussac, daß auf 191 Met. (98 Toiſ.) eine Temperaturabnahme von 1° C. stattfinde, von da an bis zu 7000 Met. Erhebung auf 141 Met. (72,34 T.); von 5000 bis 7000 Meter Erhebung sinkt die Temperatur bei 134 Met. (68,76 T.) um 1° C. Die Temperatur nimmt hiernach desto schneller ab, je weiter man sich über die Erde erhebt.

Einige der wichtigeren und aus sorgfältigeren Beobachtungen erhaltenen Resultate sind folgende:

Beobachter:	Ort der Beobachtung:	Abnahme der Temp. um 1° C. bei einer Erhebung von:
De Saussure	Schweizeralpen	77 Toisen.
Derf. u. Ramond	Höchste schneefreie Alpen	88 Toisen.
Dalton	Nordengland	68 Toisen.
De Saussure	Col de Géant	81,1 Toisen.
v. Humboldt	zwischen den Wendekreisen	87,2 Toisen.
Pictet	Hospit. a. d. St. Bernhard	105,1 Toisen.

Digitized by Google

Hiernach fände im Mittel eine Wärmeabnahme von 1° C. bei 84,4 Toisen statt; de Sauſſure nimmt dafür (im Sommer) 80 Toisen; d' Aubuiſſon 82,1 Toisen an.

Wie unbeſtimmt auch dieſe Reſultate ſind, ſo ſieht man doch, wie überall in der That eine Wärmeabnahme mit der Erhebung über die Erdoberfläche ſtattfinde, und es kann als gewiß angenommen werden, daß nicht etwa in von uns noch unerreichten Höhen in der Atmoſphäre wiederum Zunahme der Temperatur ſtattfinde. Da die Temperatur nicht in Sprüngen abwechſelt, ſondern ganz allmählig abnimmt, ſo würde man bei einer ſenkrechten Erhebung über den Aequator alle diejenigen Temperaturen durchmachen, welche irgend wo auf der Erde herrſchen. Bei hohen Bergen findet man daher, ſo wie man höher und höher an ihnen aufſteigt, alle die verſchiedenen Klimate, welche von den Bergen nach den Polen zu liegen, bis zu dem der Polarkreiſe. d' Aubuiſſon nimmt an, daß ungefähr eine Erhebung um 100 Meter eine Temperaturerniedrigung zu Folge habe, wie 1° weiter nach dem nächſten Pole zu herrſcht.

Ueber jedem Orte der Erde wird es einen Punkt in einer gewiſſen Höhe geben, bei welchem die Temperatur = 0° wird. Auf Bergen, welche bis über dieſe Höhe hinaufragen, werden von da an alle wäßrigen Niederſchläge als Schnee und Eis auftreten, und da die Temperatur, an ſich in ſolcher Höhe nur wenig veränderlich, ſelten über 0° ſich erhebt, in dem feſten Zuſtande (ohne zu ſchmelzen) beharren. Alle dieſe Punkte der Nulltemperatur zuſammengefaßt geben eine die ganze Erde einſchließende krumme Fläche: die Schneegrenze. Humboldt hat, wie iſothermiſche Linien, ſo auch andere Linien angegeben, welche die in der Luft über der Erde ſtattfindenden gleichen Temperaturen bei verſchiedenen (von dem Aequator an abnehmenden) Höhen mit einander verbinden; es iſt klar, daß diejenige dieſer Linien, welche die Nulltemperaturen in verſchiedenen Höhen über der Erde unter einander verbindet, in der Fläche der Schneegrenze liegt, die Schneelinie iſt. Nimmt man ferner an, daß die mittlere Temperatur unter denſelben Breitengraden und das Geſetz, nach welchem die Temperatur über der Erde mit zunehmender Höhe abnimmt, aller Orten gleich ſei, ſo würde die gekrümmte Fläche der Schneegrenze die Erde ſo umgeben, daß ſie unter dem Aequator in einer Höhe von etwa 5200 Meter anfangend nach den Polen zu allmählig ſich herabſenkte, und in 50° der nördlichen und der ſüdlichen Breite die Oberfläche der Erde träfe. Indeß ſind jene Vorausſetzungen, aus denen dieſe Beſtimmung folgt, keineswegs durch die Erfahrung beſtätigt, wie aus dem Vorhergehenden zu erſehen iſt.

In der Wirklichkeit fällt die Schneegrenze, d. h. diejenige Höhe, in der Berge mit niemals thauendem Schnee bedeckt ſind, nicht mit der Fläche zuſammen, welche durch alle Punkte der 0° Temperatur geht. Es iſt oben geſagt worden, daß je höher über der Erde, deſto weniger die Temperatur im Verlaufe des Tages und Jahres von einem conſtanten Mittel abweiche. Ueber dem Aequator liegt die 0° Temperatur ſehr hoch, kommt aber in höheren Breiten immer weiter herab; wäh-

Digitized by Google

rend folglich die Temperaturen von dem Mittel 0° über dem Aequator wenig oder gar nicht abweichen, wird diese Abweichung immer bedeutender, je näher die oben angenommene Schneegrenze bei 0° den Polen und damit der Erdoberfläche kommt. Bald weicht das Mittel Null-Grad so stark von der in dem Sommer stattfindenden Wärme ab, daß diese in der Grenze der Null-Grad-Temperatur den Schnee zu schmelzen vermag: je weiter man sich von dem Aequator entfernt, desto mehr weichen die wahre Schneegrenze und die Nullgradtemperaturgrenze von einander ab, und zwar liegt jene höher als diese. v. Humboldt nimmt die wahre Schneegrenze unter dem Aequator bei einer Höhe an, welche zur mittleren Temperatur 0°,4 C. hat, in gemäßigten Zonen ist sie nach Pictet bei — 4°,6 C., und in den nördlichen nach v. Humboldt erst bei — 6° C. mittlerer Temperatur. Nimmt man an, daß zwei Grade der Breite Einem Grade Temperaturabnahme entsprechen, so kommt über dem Aequator die Schneegrenze in eine Höhe von 5200 Meter zu liegen, und trifft die Erde auf beiden Seiten des Aequators bei 67° bis 70° Breite. Nach Cotte schneidet die Schneegrenze die nördliche Halbkugel bei 70°, die südliche dagegen schon bei 65° Breite, welches mit der oben schon gemachten Bemerkung übereinstimmt, daß die südliche Halbkugel kälter als die nördliche sei. So wie die Temperatur der Erdoberfläche in ihrer Abnahme vom Aequator nach den Polen zu keine durchgängige Regelmäßigkeit zeigt, sondern durch Localitäten vielfach modificirt ist, so hat auch die Schneegrenze, welche unmittelbar mit der Temperatur der Erdoberfläche zusammenhängt, entsprechende Unregelmäßigkeiten, indem sie unter denselben Parallelkreisen bis zu verschiedenen Höhen sich erhebt. Hällström hat folgende Zusammenstellung der Höhen der Schneegrenze über verschiedenen Orten unter verschiedenen Breiten gegeben, wie Beobachtungen dieselbe gefunden haben.

Oerter.	Breiten.	Höhen in F.	Beobachter.
Cotopaxi	von 1° 28′ S. bis 0° B.	15228	v. Humboldt.
Antisana		14958	
Chimboraço		14826	
Ruku-Pichincha		14760	
Nevado del Corazon		14748	
Pichincha	0° 10′ S	14700	Condamine.
Pichincha	0 0	14604	Bouguer.
Quito	0 0	14760	v. Humboldt.
Popayan	0 3 N	14580	v. Humboldt.
Mexico	19 0	14100	v. Humboldt.
Nevado Toluca	19 12	13776	v. Humboldt.
Mexico	0 0	14166	v. Humboldt.
Mexico	20 0	14100	v. Humboldt.

Digitized by Google

Oerter.	Breiten.	Höhen in F.	Beobachter.
Himlaya	30° 0′	11400	v. Humboldt.
Himlaya	31 0	15660	
Atlas	31 0	11550	Ali-Bey.
Libanon	33 0	9102	Wahlenberg.
Aetna	37 33	9900	Sauſſure.
Pic du Midi	42 0	9036	Ramond.
Canigou	42 31	8718	Sauſſure.
Pyrenäen	42 45	8400	v. Humboldt.
Pic Long		8700	Ramond.
Neuvielle	43 0	8250	Ramond.
Elbrus	43 0	9882	Parrot.
Mont Perdu	43 0	8100	Wahlenberg.
Pyrenäen	45 0	7692	v. Humboldt.
Alpen	45 30	8520	L. Buch.
Alpen	45 30	8100	Sauſſure.
Alpen	46 0	8220	v. Humboldt.
Alpen	46 0	8220	Wahlenberg.
Carpathen	49 0	7998	Wahlenberg.
Carpathen	49 10	7980	v. Humboldt.
Norwegen	60 0	4800	L. Buch.
Suletind	61 0	5220	
Snöhätta	62 0	5600	Wahlenberg.
Norwegen	62 0	5400	L. Buch.
Eliasberg. Amer.	62 0	4600	Wahlenberg.
Syuckustöt. Norw.	62 12	5250	Hiſinger.
Norwegen	62 30	4860	L. Buch.
Syltopp	63 0	4950	Hiſinger.
Areskuta	63 26	4740	
—	— —	4440	Hartmann.
Island	65 0	2896	Olaſſen.
Schweden	66 30	4014	L. Buch.
Sulitelma	67 5	3100	Wahlenberg.
Valli. Schwed.	67 6	4100	
Talpa jegna. Norw.	67 20	3000	
Alten	70 0	3300	L. v. Buch.
Hammmerfeſt	70 38	2502	
Nordcap	71 0	2202	

Vergleiche als Fortſetzung die Artikel: Berg, Ebene, Atmoſphäre, Klima, ꝛc. ꝛc.

Erden heißen in der Chemie eine gewiſſe Klaſſe der Baſen (ſ. d. Art.). Es ſind (nach Geiger) farbloſe, durchſichtige, kryſtal-

Digitized by Google

lisirte oder weiße, zerreibliche, pulverige, geruch- und geschmacklose, feuerbeständige, in Wasser wie in Weingeist unlösliche Substanzen. Ihr specifisches Gewicht (gegen Wasser) ist unter 5. Ihre chemische Verwandtschaft zu den Säuren ist geringer als die der Alkalien (mit Ausnahme der organischen), sie stumpfen ihre sauren Eigenschaften (vergl. d. Art. Säuren), wenn sie damit lösliche Verbindungen bilden, gewöhnlich nicht vollständig ab, und bilden damit farblose Mischungen, die erdigen Mittelsalze. — Nach Davy sind die Erden alle Verbindungen von Metallen oder denen ähnlichen Stoffen und Sauerstoff. So ist die Kieselerde ein Oxyd des Siliciums, die Yttererde ein Oxyd des Yttriums u. s. w. Erdmetalle heißen diejenigen Metalle, deren Oxyde Erden sind.

Erdferne und Erdnähe, Apogäum (v. d. griech. ἀπό von nnd γῆ Erde) und Perigäum (v. d. griech. περί bei und γῆ) heißen der fernste und der nächste Punkt, in welchem der Mond auf seiner Bahn um die Erde sich befindet. Auch andere Himmelskörper, welche der Erde merklich näher und ferner zu stehen kommen, haben Erdferne und Erdnähe. Die unteren Planeten sind der Erde am nächsten, wenn sie zwischen ihr und der Sonne (untere Conjunction) stehen, am fernsten, wenn sie hinter der Sonne (obere Conjunktion) vorbei gehen. Die oberen Planeten sind in der Erdferne, so oft sie hinter der Sonne sich befindend mit dieser in Conjunction stehen; in der Erdnähe wenn sie mit der Sonne in Opposition stehen, um Mitternacht im Meridian erscheinen. Es ist natürlich, daß die Sterne in der Erdnähe größer als in der Erdferne erscheinen. So ist der scheinbare Durchmesser des Mondes bei der Erdferne 28′ 36″, bei der Erdnähe dagegen 33′ 51″. Besonders erscheint der Mond bei seiner Erdnähe viel größer als bei seiner Erdferne, er ist aber auch in dieser letzten Stellung fast viermal so weit von der Erde entfernt als in der ersten.

Erz, Miner, wird im Allgemeinen jede Form genannt, in welcher die schweren Metalle in der Natur vorkommen. In einer engeren Bedeutung setzt man gediegenes Metall und Erz entgegen, und versteht unter dem letzten diejenigen Verbindungen der schweren Metalle, in welchen dieselben natürlich vorkommen, im sogenannten verlarvten oder vererzten Zustande. Vorzugsweise endlich werden die Schwefelmetalle Erze genannt. — Die Erze werden näher (Silbererze, Kupfererze u. s. w.) genannt nach dem am bedeutendsten in ihnen vorkommenden Metalle.

F.

Fällung, Niederschlagung, Präcipitation (v. d. lat. praecipitatio Fällung) bezeichnet einen chemischen Prozeß, bei dem durch Abkühlung, Aussetzung an die Luft, Zusatz einer anderen Substanz (in flüssiger oder fester Gestalt), ein Körper in fester Form, gewöhnlich als Pulver ausgeschieden wird. Man unterscheidet: das Fällungs-

Digitized by Google

mittel, der zu Bewirkung der Fällung zugesetzte Körper, und den Niederschlag, der durch die Fällung gewonnene feste Körper. Die Flüssigkeit, in welcher eine Fällung geschehen soll, muß stets eine Verbindung des zu fällenden Körpers mit einem anderen in flüssiger Gestalt sein; geschieht nun die Fällung dadurch, daß das Fällungsmittel mit einem Theile dieser zu fällenden Verbindung zu einer Flüssigkeit sich verbindet, der andere Theil derselben aber in fester Form sich ausscheidet, so heißt der Niederschlag ein Educt (v. d. lat. educere ausführen, ausziehen); verbindet sich dagegen das Fällungsmittel oder ein Bestandtheil desselben mit einem Theile der flüssigen Verbindung zum Niederschlage, so heißt dieser ein Product (v. d. lat. producere hervorbringen). Schwimmt der entstandene Niederschlag in der übrigbleibenden Flüssigkeit oben auf, so nennt man ihn auch Rahm. Auch die Luft kann in einer ihr zugänglichen Flüssigkeit einen Niederschlag bewirken, man nennt dieses: eine freiwillige oder von selbst erfolgende Niederschlagung. Um den Niederschlag abzusondern, bedient man sich der Filtrirung und Abtrocknung. Bei der Fällung von Metallen scheidet sich das Metall meist in zusammenhängenden, oft regelmäßigen Gestalten aus; man unterscheidet Metallniederschlagung auf trockenem und auf nassem Wege. Die erstere geschieht, indem ein Metallgemisch geschmolzen und ein, dem mit dem zu fällenden Metalle verbundenen Körper, verwandter Körper zugesetzt wird, die beiden letzten verbinden sich dann und das Metall scheidet sich aus. Bei der Metallniederschlagung auf nassem Wege bringt man in die zu fällende Lösung eines Metallsalzes ein anderes Metall, welches sich oxydirt und auflöst, während das zu fällende Metall in schönen sogenannten Metallbäumen, Dendriten (v. d. griech. δένδρον Baum) sich ausscheidet.

Fall. Jeder Körper ist bekanntlich schwer, d. h. er strebt mit einer seiner Masse entsprechenden Kraft nach der Mitte der Erde zu sich zu bewegen. Liegt er auf irgend einer Unterlage so drückt er mit dieser Kraft auf dieselbe, wird ihm aber die Unterlage entzogen, so bewegt er sich nach der Mitte der Erde hin, so weit bis er auf ein neues Hinderniß, eine neue Unterlage stößt. Diese Bewegung der Körper durch ihre Schwere nach dem Mittelpunkte der Erde zu heißt das Fallen der Körper. Frei heißt dasselbe, wenn es dem Körper gestattet ist in dieser seiner Bewegung den ihn am schnellsten nach seinem Ziele hinführenden Weg, die Richtung der Falllinie, einzuschlagen, ein Fallen auf vorgeschriebenem Wege findet statt, wenn der Körper bei seiner Bewegung durch die Schwere durch irgend welche Mittel gezwungen ist von der Falllinie abzuweichen.

Denken wir uns alle Körper aus sehr kleinen einzelnen, unter einander gleich großen und gleich schweren Theilchen, Atomen zusammengesetzt, deren größere oder geringere Zusammenhäufung in ein bestimmtes Volumen die größere oder geringere Dichte des Körpers bestimmt, so ist an sich klar, daß da diese Massentheilchen alle unter einander gleich schwer sind, die Schwere aber die einzige Ursache des Fallens ist,

Digitized by Google

daß alle aus gleicher Höhe über der Erde auf diese herabfallenden Massentheilchen, zugleich auf der Oberfläche der Erde ankommen, alle in derselben Zeit dieselben Räume durchlaufen werden, oder mit derselben Geschwindigkeit fallen werden. Wie nahe an einander die Massentheilchen dabei sein werden, kann keinen Einfluß auf das Fallen haben; und wir müssen also den Schluß machen, daß alle Körper (als aus solchen unter einander gleichen Körperchen zusammengesetzt) in gleicher Zeit von gleicher Höhe auf die Erde herabfallen müssen. Die Erfahrung scheint hiergegen zu sprechen: lassen wir aus gleicher Höhe zugleich einen Stein und eine Feder herabfallen, so wird der Stein eher den Boden erreichen als die Feder. Wir müssen aber bedenken, daß das Fallen, wenn wir es so ohne weiteres in der uns umgebenden Atmosphäre vornehmen, keineswegs ungehindert geschieht, sondern, daß die Luft einen, wenn auch geringen, Widerstand leistet. Die Luft wird von dem fallenden Körper zusammengedrückt und zwar in einer Ausdehnung, die dem Volumen des fallenden Körpers entspricht, einem Körper von einer gewissen Masse in kleinem Volumen wird sie daher geringeren Widerstand leisten müssen als einem Körper von gleicher Masse in verhältnißmäßig großem Volumen; noch bei weitem größeren Widerstand aber einem Körper von weniger Masse in gleichem oder gar größerem Volumen. Daß in der That die Luft der einzige Grund ist, warum die Körper mit verschiedener Geschwindigkeit zur Erde sinken, bestätigen Versuche aufs überzeugendste. Wenn man nämlich Körper von verschiedenem Gewicht, z. B. ein Stück Metall und eine Feder im möglichst luftleeren Raume (der Luftpumpe) aus gleicher Höhe herabfallen läßt, so findet sich, daß sie zu gleicher Zeit den Boden erreichen.

Jede Bewegung setzt eine Kraft als Grund der Bewegung voraus, und man unterscheidet, ob die Kraft nur momentan auf den in Bewegung befindlichen Körper gewirkt hat, oder ob dieselbe ohne Unterlaß auf den Körper wirkt. Abgesehen von allen entgegenwirkenden, die Bewegung verzögernden oder ganz aufhebenden Kräften, so wird im ersten Falle der Körper mit derselben durch die momentan wirkende Kraft ihm mitgetheilte Geschwindigkeit ohne Aufhören sich fortbewegen, im zweiten Falle wird die Bewegung immer schneller werden, indem in jedem Augenblicke die schon erlangte Geschwindigkeit bleibt, und eine neue durch die ohne Aufhören auf ihn wirkende Kraft noch hinzukommt; der Körper hat eine gleichförmig beschleunigte Bewegung. Vergl. d. Art. Bewegung. Der fallende Körper wird durch die Schwere in Bewegung gesetzt, es fragt sich ob die Schwere eine nur momentan oder eine fortwährend auf den Körper wirkende Kraft sei, um zu entscheiden, ob der freie Fall eine gleichförmig beschleunigte Bewegung sei oder nicht. Die Schwere bleibt aber bei dem Körper bis er sein Ziel, die Mitte der Erde erreicht hat, sie ist also eine auf den fallenden Körper fortwährend wirkende Kraft. Aber sie ist eine Kraft, welche nicht fortwährend mit derselben Stärke auf den Körper wirkt, je näher der Körper der Mitte der Erde kommt, desto mächtiger wird

Digitized by Google

er angezogen, desto schwerer ist er*). Da jedoch alle Fallversuche und Beobachtungen, welche wir machen können in einem sehr beschränkten Raume (im Verhältniß zum Halbmesser der Erde) liegen, und eine unüberwindliche Grenze an der Oberfläche der Erde haben, so können wir bei näherer Untersuchung der Gesetze des Fallens füglich das Zunehmen der Schwere mit der Annäherung der Körper an die Mitte der Erde außer Acht lassen.

Die wichtige Frage, welche zu beantworten ist, ist die: wie verhalten sich die Räume, welche von fallenden Körpern zurückgelegt werden, zu den Zeiten, welche der Fall währt; oder wenn von zwei Körpern der eine m Secunden der andere n Secunden gefallen ist, wie verhalten sich zu diesen Zahlen m und n, die von den Körpern beim Fallen durchlaufenen Räume. Bekanntlich bestimmt man die Geschwindigkeit, die ein in beschleunigter Bewegung befindlicher Körper an einer bestimmten Stelle seines Weges hat, so, daß man angibt, wie viele Fuß der Körper von dieser Stelle ab in einer bestimmten Zeit z. B. einer Secunde zurücklegen würde, wenn er fortan mit gleichmäßiger Geschwindigkeit sich fortbewegte. Gesetzt nun die Geschwindigkeit, welche nach Verlauf der ersten Secunde ein fallender (vorher ruhender) Körper zurücklegte, sei = 30 F., so sieht man leicht, daß da vorher (ehe er zu fallen begann) seine Geschwindigkeit = 0 war, der Körper in dieser ersten Secunde einen Raum zurückgelegt haben wird eben so groß, wie wenn er in mittlerer Geschwindigkeit von 15 F. sich gleichmäßig fortbewegt hätte. Die Beschleunigung der Bewegung des Körpers, der vorher ruhte, war so, daß sie ihm nach Einer Secunde eine Geschwindigkeit = 30 F. ertheilte. In der zweiten Secunde des Falles geht der Körper mit der Geschwindigkeit = 30 F. fort, außerdem aber wirkt die Schwere ganz so wie in der ersten Secunde beschleunigend auf seine Bewegung, also wird er am Ende der zweiten Secunde eine Geschwindigkeit = 60 F. haben. Der Raum, den er dabei durchläuft, wird eben so groß sein, als der Raum, den ein Körper von mittlerer Geschwindigkeit zwischen seiner Anfangsgeschwindigkeit = 30 F. und seiner Endgeschwindigkeit = 60 F. durchlaufen haben würde, d. h. er legt in dieser zweiten Secunde eben so viel Raum zurück, wie ein Körper von 45 F. Geschwindigkeit. Es ist nun klar, daß die Geschwindigkeit des fallenden Körpers am Ende der dritten Secunde = 60 + 30 = 90 F. sein werde, und daß er in dieser Secunde denselben Raum wie ein Körper von $\frac{60 + 90}{2}$ = 75 F. Geschwindigkeit durchlaufen werde, u. s. w. In der ersten Secunde also legt ein fallender Körper einen gleichen Raum zurück wie ein Körper von der gleichmäßigen Geschwindigkeit = 15; in der zweiten Secunde einen gleichen Raum, wie ein Körper von der gleichmäßigen Geschwindigkeit = 45 d. h. = 3 . 15; in der dritten Secunde einen gleichen Raum wie ein Körper von der gleichmäßigen Geschwindigkeit = 75 d. h. = 5 . 15 u. s. w. Neu-

*) S. d. Art. Erde, Pendelmessungen und Schwere.

nen wir nun den Raum, den ein fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt = 1, so legt er in der zweiten Secunde einen Raum = 3, in der dritten einen Raum = 5 u. s. w. zurück.

Hiernach sind die ganzen durchlaufenen Räume

am Schlusse der 1. Secunde = 1
am Schlusse der 2. Secunde = 1 + 3 = 4
am Schlusse der 3. Secunde = 1 + 3 + 5 = 9

Das Verhältniß der Zeiten zu denen in ihnen durchlaufenen Räumen ist also wie 1 : 2 : 3 zu 1 : 4 : 9; die letzteren Zahlen sind aber die Quadratzahlen der ersten, und so findet sich das Gesetz des Falles: die durchlaufenen Räume verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten; oder der Fallraum ist dem Quadrate der Zeit proportional. Wissen wir daher nur, welchen Raum ein Körper in der ersten Secunde zurücklegt, so können wir berechnen, welchen Raum er nach jeder beliebigen Zeit zurückgelegt haben werde, und umgekehrt können wir aus dem Raume, den ein Körper zu durchfallen hat, z. B. von einer gewissen Höhe bis zur Erdoberfläche, die Zeit berechnen, die er hierzu brauchen werde. Nach 4 Secunden z. B. hat der Körper einen 16 mal so großen Raum als in der ersten Secunde zurückgelegt, nach 5 Secunden einen 25 mal so großen Raum, denn 16 und 25 sind die Quadrate von 4 und 5.

Die Geschwindigkeit des Körpers nach der ersten Secunde = 30 angenommen, sehen wir, war am Ende der zweiten Secunde = 60, am Ende der dritten Secunde = 90; daraus folgt, daß sich die Geschwindigkeiten wie die Zeiten verhalten. Da nun die Räume sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten, so sehen wir, daß sich die Zeiten also auch die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln der durchlaufenen Räume verhalten, und so können wir berechnen, wie groß die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers nach Zurücklegung eines gewissen Raumes sei.

Der Raum, welchen ein freifallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, ist wegen der Abplattung der Erde nicht überall auf der Erde gleich groß, s. d. Art. Erde, (Pendelmessungen) und Pendellänge; am Aequator ist er = 15,0527 Par. F., in 45 Grad Breite = 15,09176 Par. F.; hieraus sieht man aber auch, daß der Unterschied nur bei sehr genauen Bestimmungen zu beachten ist.

Im Vorigen ist angenommen worden, daß der fallende Körper vor Anfang des Falles gar keine Geschwindigkeit hatte. Hätte derselbe aber schon eine bestimmte Geschwindigkeit gehabt, oder was dasselbe ist, hätte ihm gleichzeitig mit der Schwere von Anfang eine auf ihn momentan in der Richtung der Fallinie wirkende Kraft noch eine bestimmte Geschwindigkeit ertheilt, so würde diese in jeder Stelle seines Weges noch zu der ihm in Folge der Schwere zukommenden Geschwindigkeit hinzukommen, und der von einem Körper unter solchen Umständen durchlaufene Raum, der Fallraum, würde gleich der Summe der Räume sein, deren einen allein er vermöge seiner ihm durch die Schwere ertheilten Bewegung, und deren anderen er in Folge der momentan auf ihn wirkenden Kraft durchlaufen haben würde.

Eine Kraft, die momentan in einem der Schwere gerade entgegen-

Digitized by Google

gesetzten Sinne auf einen Körper wirkt, kann die Schwere selbst überwinden, den Körper zur Bewegung in die Höhe bestimmen, da aber die Schwere fortwährend der ihn aufwärts treibenden Geschwindigkeit entgegenwirkt, so muß diese mehr und mehr abnehmen, je weiter der Körper von der Erde sich entfernt, endlich = 0 werden, und der Körper muß nun, dem Gesetze der Schwere folgend, wieder herabfallen.

Aus der Art, wie die den Körper senkrecht in die Höhe treibende gleichförmige Geschwindigkeit und die dem Körper durch die Schwere im entgegengesetzten Sinne ertheilte in dem vorliegenden Falle gegen einander wirken, ergibt sich der Satz, daß: um einen Körper (im leeren Raume, denn der Widerstand der Luft ist bei allen diesen Betrachtungen außer Acht gelassen) bis zu einer gegebenen Höhe zu werfen, man ihm durch einen Impuls (Stoß) genau dieselbe Geschwindigkeit mitzutheilen hat, die er beim freien Fall von dieser Höhe als Endgeschwindigkeit erlangen würde. Umgekehrt trifft aber auch unter den angegebenen Umständen ein Körper mit derselben Geschwindigkeit wieder auf den Boden auf, mit der er von demselben aufwärts geworfen wurde, und hat überhaupt in jedem Punkte seiner Bahn beim Herabfallen dieselbe Geschwindigkeit, die er in demselben Punkte beim Aufsteigen hatte.

Die Gesetze des freien Falles sind nur aus der Annahme abgeleitet worden, daß das Fallen selbst eine gleichförmig beschleunigte Bewegung sei, die Versuche bestätigen aber die erhaltenen Resultate. Galilei ist der erste gewesen, welcher die wichtigen Gesetze des Falles entdeckt, und im J. 1602 öffentlich bekannt gemacht hat. Auf denselben ruhet die ganze neuere Mechanik, mit allen Wundern, die sie hervorgebracht hat. Um seine ebenfalls durch bloßes Räsonnement gefundenen Sätze durch Versuche zu erproben, ließ Galilei in einem 12 Ellen langen, ½ Elle hohen, 3 Zoll breiten Balken einen Kanal aushöhlen, den er mit Pergament belegte, um ihn glatter zu machen. Diesen Balken konnte er an einem Ende mehr oder weniger erheben, und so beobachtete er die Zeit, welche eine glatte messingene Kugel brauchte, um gewisse Räume zu durchlaufen; *) es fand sich denn auch, daß die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten sich verhielten. Auch Riccioli und Grimaldi haben Fallversuche angestellt, namentlich von dem Thurme degli Asinelli in Bologna bei einer Fallhöhe von 280 Fuß. Die Zeit wurde mittelst eines Pendels, welcher Sechstel-Secunden schlug, beobachtet. Aehnliche Versuche haben auch Dechales und in neuerer Zeit mit besonderer Genauigkeit Benzenberg angestellt.

Um die Richtigkeit der Fallgesetze auf eine leicht zu wiederholende und leicht zu beobachtende Weise zu bestätigen, hat Atwood eine eigene Vorrichtung angegeben, die sogenannte Fallmaschine. In ihrer einfachsten Gestalt besteht dieselbe aus einer Rolle, über die eine mit Gegengewichten belastete Schnur geht; sobald das eine dieser Gewichte

*) Galilei beobachtete also nicht frei fallende Körper.

Digitized by Google

ein kleines Uebergewicht erhält, fällt daſſelbe herab; aber langſamer als wenn das kleine zugelegte Gewicht für ſich allein, ohne auf dem Gegengewichte zu liegen, fiele, denn es hat im gegenwärtigen Falle noch beide (ohne es ruhende) Gegengewichte in Bewegung zu ſetzen. Eine genauere Beſchreibung der Fallmaſchine gibt Brandes.

(Fig. 120.) Auf der Mitte eines dreieckigen Fußbrettes AB, welches auf einem Fuße D und zwei Schrauben E, E ruhet, um durch letztere horizontal geſtellt zu werden, erhebt ſich ſenkrecht die hölzerne Säule FG, auf welcher, einige Zolle vom höchſten Punkte anfangend, eine Theilung von Zollen und Zehntelzollen angebracht iſt. Dieſe Theilung wird, um die Tiefen des Falles anzugeben, von oben an herabwärts gezählt, und geht (wie die Figur zeigt) bis auf 64 Zolle.*) Oben bei G iſt vermittelſt der Schraube N, die in einer meſſingenen Schraubenmutter eine genaue und ſichere Haltung finden muß, eine Platte LM befeſtigt, welche die Rolle K trägt. Dieſe Rolle, die ſehr genau centrirt und überhaupt ſauber gearbeitet ſein muß, da von ihrer vollkommen gleichen und leichten Bewegung alles abhängt, dreht ſich um eine ſtählerne Axe ab (Fig. 121.), deren Enden in ſorgfältig gearbeiteten Zapfenlagern ruhen. Man kann durch eine Schraube die an den Enden geſchloſſenen kreisförmigen Zapfenlager ein wenig mehr oder weniger gegen die in Spitzen ausgehenden Enden der Axe drücken, wodurch die — allemal ſchwache — Reibung ein wenig vermehrt oder vermindert wird.

Ueber den eingeſchnittenen Rand der Rolle geht eine Schnur, an welcher die Gewichte bei OP, O′P′ hängen. Die Rolle hat ihre Stellung aber genau ſo, daß das eine dieſer Gewichte vor der Mitte der Scale herabläuft. Um die Bewegung der Gewichte, unter denen das vor der Scale herabſinkende das Uebergewicht haben muß, zu hemmen, dient ein horizontal beweglicher, mit Tuch bekleideter Hebel Q, der die Schnur bei M andrückt, und den man durch einen Schlag mit einem Stäbchen plötzlich fortbewegt in dem Augenblicke, da die Bewegung des fallenden Gewichtes anfangen ſoll. Die Gewichte richtet man ſo ein, daß ſie aus kreisförmigen Scheiben beſtehen und auf die mit ihnen gleichen Durchmeſſer habenden Scheiben OP, O′P′ ſich auflegen laſſen, wo ſie von dem mit OP ſenkrecht verbundenen, metallenen Stäbchen p gehalten werden, indem ſie, mit einem (Fig. 122.) Einſchnitte verſehen, von der Seite aufgeſchoben, auf den Scheiben OP, O′P′ ruhen. Dieſe Gewichte ſind nun erſtlich ſolche, die auf beiden Scheiben OP, O′P′ gleich aufgelegt werden, und dann zweitens ein Uebergewicht, das dem vor der Scale herabſinkenden Gewichte beigefügt wird. Endlich befindet ſich ſeitwärts an der Säule ein Pendel, welches beſtimmt iſt, die Zeit des Herabfallens des Gewichtes OP zu meſſen. Daſſelbe iſt entweder ein einfaches Secundenpendel, wenn die Gewichte OP, O′P′ ſo eingerichtet werden, daß das Herabfallen innerhalb einer Zeit von 8

*) In dieſem Falle iſt die Zeit des Fallens auf 8 Sec. angenommen, für 6 Sec. wäre eine Höhe von 36, für 7 von 49, für 9 von 81 Zollen nöthig.

Digitized by Google

Secunden geschieht, oder die Linse desselben ist beweglich, um seine Schwingungen willkührlichen Zeiten anzupassen.

Um Versuche mit der Fallmaschine anstellen zu können, muß dieselbe zunächst in eine genau senkrechte Stellung gebracht werden; deßhalb bringt man die durchbrochene Unterlage Fig. 123., deren Kreisöffnung die Gewichtsscheiben bequem, aber ohne einen zu großen Zwischenraum übrig zu lassen, durchläßt, ziemlich tief an der Säule unterhalb des Gewichtes an und gibt nun der Säule mittelst der Schrauben E, E genau diejenige Stellung, bei welcher das Gewicht frei ohne anzustoßen durch die Oeffnung der Unterlage hindurchgeht. Die Unterlage wird an der Säule durch den um diese passenden Arm ws gehalten und durch eine Feder bei s an die Säule fest angedrückt. Eine fernere Vorbereitung zum anzustellenden Versuche besteht darin, daß man im Voraus berechnet, wie groß das Uebergewicht, welches man aufzulegen hat, sein müsse, damit beim Fallversuche das herabsinkende Gewicht in der ersten Secunde einen gewissen Raum zurücklege. Nennen wir das zu Herstellung des Uebergewichtes aufzulegende kleine Gewicht p, jedes der beiden einander das Gleichgewicht haltenden Gewichte P, so ist die ganze in Bewegung zu setzende Masse $= 2\,P + p$. Nehmen wir ferner an, es sei $p = \frac{1}{m} P$ (d. h. gleich irgend einem bestimmten Theile von P) so ist $m\,p = P$, $2\,m\,p = 2\,P$, $(2\,m + 1)\,p = 2\,P + p$, $p = \frac{2\,P + p}{2\,m + 1}$. Wenn p allein frei fällt, so fällt es bekanntlich in der ersten Secunde 15,09 par. Fuß oder ziemlich genau 181 Zoll; hier aber wo es ein $2\,m + 1$ mal so großes Gewicht durch die Kraft der Schwere in Bewegung zu setzen hat, wird es in einer Secunde nur $\frac{1}{2\,m + 1}$ der natürlichen Fallhöhe zurücklegen können; $\frac{181}{2\,m + 1}$ ist der an der Fallmaschine wirklich durchlaufene Raum in der ersten Secunde, wenn $p = \frac{1}{m} P$ ist. Will man nun, daß dieser Raum z. B. $= 1$ Zoll sein soll, so hat man $\frac{181}{2\,m + 1} = 1$, d. h. $181 = 2\,m + 1$, d. h. $m = \frac{180}{2} = 90$, und man muß folglich $p = \frac{1}{90} P$ machen. Gesetzt jedes der beiden Gewichte P sei $= 4500$ Gran, so müßte man also, damit beim Versuche in der ersten Secunde eine Höhe von 1 Zoll durch das fallende Gewicht zurückgelegt würde, ein Uebergewicht p von $\frac{1}{90}\,4500 = 50$ Gran auf die eine Gewichtscheibe auflegen.

Zu Bestätigung des Satzes, daß die Fallräume wie die Quadrate der Zeiten sich verhalten, wird nun das Gewicht mit seinem gehörigen Uebergewichte angehängt und so vor der Scale gestellt, daß seine untere Fläche genau bei dem Nullpunkte der Eintheilung sich befindet; der Hebel wird bei M angedrückt, um die Schnure festzuhalten. Nun merkt man auf die Schläge des Secundenpendels, und im Augenblicke eines Pendelschlages stößt man den haltenden Hebel zurück und zählt

von da ab die folgenden Pendelschläge. Man wird finden, daß mit dem achten Pendelschlage das Gewicht auf den Boden der Maschine aufstößt, wenn diese, wie angenommen wurde, 64 ($= 8^2$) Zoll Fallhöhe darbot; eben so kann man beobachten, daß beim 1ten gezählten Pendelschlage, das Gewicht bei 1 Z. der Scale, beim 2ten bei 4 Z., beim 3ten bei 9 Z., beim 4ten bei 16 Z. u. s. w. ankommt; und um dieses besser beobachten zu können, kann man bei den betreffenden Eintheilungen eine Fig. 123. ähnliche Unterlage, aber ohne Oeffnung, anbringen, auf diese muß das Gewicht im Augenblicke des Pendelschlages eintreffen, dessen Zahl der Quadratwurzel der bis zum Aufstellungspunkte vom Nullpunkte reichenden Zahl von Zollen entspricht.

Wenn die Fallmaschine mit einem Pendel versehen ist, an welchem die Linse sich verschieben läßt, so kann man sich die Mühe der Gewichtsberechnung ersparen, und die Zeit, in welcher eine Pendelschwingung vor sich geht, durch Verschieben der Linse so bestimmen, daß stets, während der fallende Körper längs der ganzen Scale von 64 Zoll sich herabbewegt, 8 Schläge vom Pendel gethan werden.

Um in einem anderen Versuche die Geschwindigkeit zu beobachten, welche der herabfallende Körper an einem gewissen Punkte seiner Bahn erhalten hat, so muß das Uebergewicht, sobald der Körper in diesem Punkte ankommt, abgehoben werden, denn dann bewegt sich fortan das Gewicht mit der in diesem Punkte ihm eigenthümlichen Geschwindigkeit, ohne daß diese weiterhin durch die Schwere vermehrt wird. Zu dem Ende bringt man die Fig. 123. abgebildete Unterlage mit der Oeffnung so an, daß sie das Uebergewicht, welches hier ein den Durchmesser der Oeffnung der Unterlage an Länge übertreffendes Stäbchen sein muß, in dem Augenblicke abhebt, wo das Gewicht durch sie hindurchgeht, und zwar muß dieß an dem Punkte geschehen, in welchem man des fallenden Körpers Geschwindigkeit beobachten will. Wir wissen, daß sich die Geschwindigkeiten wie die Zeiten verhalten, oder daß wenn g die Geschwindigkeit nach der ersten Secunde, g′ die Geschwindigkeit nach der mten Secunde bedeutet, sich verhält

$$g : g' = 1 : m$$

also daß $g' = mg$, und da g hier eine Geschwindigkeit $= 2$ Zoll in der Secunde bedeutet, so ist nach m Secunden die Geschwindigkeit $g' = 2m$ Zoll in der Secunde; also z. B. nach 5 Sec. $= 10$ Zoll; wird nun in diesem Augenblicke das Uebergewicht abgehoben, so bewegt sich das Gewicht mit dieser Geschwindigkeit fort. Am Ende der 5ten Secunde war es aber bei 25 Z. angekommen, nach Abhebung des Uebergewichtes kommt es also nach der 6ten Secunde bei $25 + 10 = 35$ Z., am Ende der 7ten Secunde bei 45 Z., am Ende der 8ten Secunde bei 55 Z. an. Wenn hier nun die nicht durchbohrte Unterlage angebracht ist, so hört man mit dem 8ten Pendelschlage unter den angegebenen Verhältnissen das Gewicht aufstoßen.

So tauglich die Atwood'sche Fallmaschine zur Beobachtung der Fallgesetze sich zeigt, so ist doch zu bemerken, daß von einer absoluten Genauigkeit und Uebereinstimmung mit der Theorie nicht die Rede sein kann, sondern daß immer eine, wenn auch für unsere Sinne

Digitized by Google

wenig merkliche Verzögerung des fallenden Körpers stattfinden muß. Denn nicht allein wirkt der Widerstand der Luft hemmend, sondern auch die allemal stattfindende Reibung der Schnur an der Rolle und der Rolle mit ihren Axen in deren Lagern.

Der Fall auf vorgeschriebenem Wege findet dann statt, wenn ein Körper auf einer glatten Unterlage, gewöhnlich einer schiefen (geneigten) Ebene, herabgleitet oder rollt. Wird er dabei nur durch den Widerstand der Ebene in seiner Bewegung und zwar in der in senkrechter Linie, zu welcher die Schwere ihn bestimmt, gehemmt; so gelten folgende Gesetze.*) Ein Körper, der längs einer schiefen Ebene hinabgleitet, wird zwar ebenfalls durch die Schwere gleichförmig beschleunigt; weil aber die schiefe Ebene einen Theil der absoluten Schwere des Körpers aufhebt (nämlich den gegen die Ebene senkrecht wirkenden Theil, welcher durch Zerlegung der Schwerkraft nach dieser senkrechten und einer mit der Ebene parallelen Richtung gefunden wird), so kann er auf der schiefen Ebene nur mit einer geringeren Geschwindigkeit fallen, und zwar verhält sich die Fallhöhe in der ersten Secunde auf der schiefen Ebene zu der durch freien Fall, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge derselben. — Der vom Widerstande der schiefen Ebene nicht aufgehobene Theil der Schwerkraft, vermöge dessen der Körper noch auf ihr hinabgleitet, heißt die relative Schwere, die folglich zur absoluten, die er beim freien senkrechten Fall hat, im Verhältniß der Höhe der schiefen Ebene zur Länge derselben steht. — Die Geschwindigkeit eines auf einer schiefen Ebene (oder auf irgend einem andern vorgeschriebenen Wege) herabfallenden Körpers ist an jeder Stelle derjenigen gleich, welche der Körper durch freien senkrechten Fall bis zu derselben Tiefe erlangt haben würde. — Längs jeder Sehne in einem Halbkreise fällt der Körper in derselben Zeit, in der er durch die Höhe des senkrechten Durchmesser gefallen sein würde. — Eine nähere und weitere Ausführung der Gesetze des Falles auf vorgeschriebenem Wege, müßte höhere mathematische Kenntnisse voraussetzen.

Fallschirm ist eine Vorrichtung, ähnlich einem Regenschirm, welche dazu dient, einen aus größerer Höhe herabfallenden Gegenstand vor Beschädigung durch heftiges Auffallen auf den Boden zu schützen, indem derselbe vermöge seiner Form ohne die Schwere des an ihm hangenden Körpers sehr zu vermehren der Luft eine breite Fläche darbietet, gegen welche dieselbe einen starken Gegendruck beim Herabfallen ausübt. Der erste, welcher wissenschaftliche Versuche mit einem Fallschirme gemacht hat, war Le Normand. Im J. 1783 ließ sich derselbe von der ersten Etage eines Hauses mittelst eines Fallschirmes herab, indem er sich hierzu eines Regenschirmes bediente, der 30 Zoll Durchmesser hatte und an dessen Stabenden er Schnüre angebracht hatte, welche er in der Hand hielt, damit sich der Schirm durch den Widerstand der Luft nicht umschlagen konnte. Aus größeren Höhen ließ er mit einem Fallschirme

*) Vergl. den Art. Ebene, schiefe. S. 11. ff.

Digitized by Google

Thiere herabfallen, welche unbeschädigt den Erdboden erreichten. Die Gestalt eines offenen Kegels hielt Le Normand für die geeignetste des Fallschirmes und berechnete um einen Menschen tragen zu können den Durchmesser desselben zu 14 Fuß. Die Luftschiffer Montgolfier und Blanchard haben die Versuche noch weiter ausgedehnt, der erstere vom Luftballon aus und der letztere ließ sich endlich in Basel selbst an einem Fallschirme aus einer beträchtlichen Höhe herab. Er fiel unglücklicher Weise auf Bäume und brach ein Bein. Garnerin hat sich öfter glücklich an einem Fallschirme herabgelassen. Der Fallschirm hatte die Gestalt eines großen Regenschirmes und ausgespannt einen Durchmesser von 25 bis 30 Fuß.

Der Fallschirm öffnet sich beim Herabfallen ganz von selbst durch den Widerstand der Luft, ehe dieß aber geschieht, fällt der an ihm hangende Körper natürlich eben so wie ohne Fallschirm, d. h. mit zunehmender Geschwindigkeit (s. d. Art. Fall); nach Entfaltung des Schirmes aber hört die Beschleunigung der Bewegung auf, und die Geschwindigkeit nimmt ab je dichter die Luft wird. Der an den Fallschirm befestigte schwere Körper muß gerade unter dem Schwerpunkte des Schirmes angebracht sein, und zwar möglichst tief, weil der Fallschirm durch die Luft beim Herabfallen in Schwankungen versetzt wird, die um so stärker sind je näher der schwere Körper dem Schwerpunkte des Schirmes ist.

Farbe. In der Physik heißt Erklärung einer Erscheinung: Aussprechen derselben wie sie unter den einfachsten Bedingungen auftritt. Je vorurtheilsfreier, mit je ungetrübteren Sinnen die Erscheinung aufgefaßt und mit je einfacheren Worten sie ausgesprochen wird, desto leichter erzeugt sie im Leser oder Hörer eine Vorstellung der gemachten Beobachtung, eine desto bessere Erklärung ist sie. Zusammengesetztere Erscheinungen erklären, heißt, sie auf einfachere zurückführen, man glaubt eine einfache Erscheinung vollkommen zu verstehen, wenn man Zahlen- und Verhältnißbestimmungen bei der Beobachtung festgesetzt hat, zusammengesetztere dann, wenn sich die an ihnen gemachten Zahlen- und Verhältnißbestimmungen auf die der einfachen zurückführen lassen.

Wenn man durch eine kleine Oeffnung in ein dunkeles Zimmer einige Sonnenstrahlen einfallen läßt, und sie mittelst einer weißen Tafel auffängt, so zeigt sich auf dieser ein runder heller weißer Fleck: das Bild der Sonne. Läßt man aber die Strahlen, ehe sie auf die weiße Tafel auffallen, durch ein Prisma hindurchgehen, so sieht man an einer anderen Stelle der Tafel einen länglichen verschieden gefärbten Fleck auf der Tafel; offenbar auch ein Bild der Sonne, aber durch das Prisma modificirt. Da sich die Lage des Bildes geändert hat, so sagt man: die Strahlen seien durch das Prisma gebrochen worden; da hierbei verschiedene Farben auftreten, das weiße Sonnenlicht aber durch das Prisma nicht gefärbt worden ist, so daß etwa von dem Prisma etwas abgegangen und mit dem weißen Lichte in verschiedenen Verbindungen (den verschiedenen Farben) sich verbunden hat, so muß man den Grund der Farbenverschiedenheit in der Brechung suchen, annehmen, daß das

Digitized by Google

weiße Sonnenlicht ſchon vorher alle die verſchiedenen Farben enthalten habe, die aber nun erſt durch das Dazwiſchenkommen des Prisma, d. h. durch die Brechung zum Vorſchein gekommen; und da ſich überdieß die Geſtalt des Sonnenbildes geändert hat, ſo kann man die ganze Erſcheinung in der That nicht kürzer ausſprechen als wie bereits Newton gethan hat, indem er ſagte: jeder Strahl des weißen Sonnenlichtes beſteht aus verſchiedengefärbten Strahlen, die verſchieden gebrochen werden, ſo daß ſie durch die Brechung aus einander treten. Weiß iſt demnach das Vorhandenſein aller Farben zugleich, jede andere Farbe aber die Abweſenheit aller übrigen oder einiger der übrigen Farben. Die nähere Beſtimmung der geringſten Anzahl von Farben, die man annehmen muß, um aus ihrem einfachen Vorhandenſein oder aus dem Zugleichdaſein mehrer von ihnen alle Farbenübergänge und Verſchiedenheiten zu beſtimmen, die Zahlenbeſtimmungen für die verſchiedene Brechbarkeit der verſchieden gefärbten Strahlen iſt die weitere Aufgabe der Beobachtung. Alles dieſes gibt die vollſtändige phyſikaliſche Erklärung der Farben, und alle weiteren Erklärungen irgend welcher Farbenerſcheinungen beſtehen in nichts anderem, als in der Zurückführung derſelben auf die bei der angeführten einfachen Erſcheinung gemachten Beobachtungen. Daß indeß das eigentliche Weſen der Farbe durch eine ſolche Erklärung gar nicht ausgeſprochen ſei, liegt am Tage, es iſt aber überhaupt nicht Sache der Phyſik mit dem Weſen der Dinge ſich zu beſchäftigen, ſie hat es allein mit der Erſcheinung zu thun.

Die einfachen Beobachtungen, aus denen man auf eine verſchiedene Brechbarkeit der verſchieden gefärbten Strahlen ſchließt, ſind zum Theil im Art. Brechbarkeit angeführt; auch ſind die Grundfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett dort angeführt worden. Näher erklärt man nun hiernach das prismatiſche Farbenbild ſo. Die Sonne iſt weiß, d. h. zugleich roth, orange, gelb, grün, blau, violett, als roth erſcheint ihr rundes rothes Bild an einer beſtimmten Stelle auf der das Bild auffangenden Tafel, als orange, gelb u. ſ. w., wenn kein Prisma gegenwärtig iſt, auf derſelben Stelle ein eben ſo großes orange u. ſ. w. farbenes Bild, und da alſo alle Farben auf einem Orte zuſammenfallen, ſo ſieht man wiederum in weißem Lichte das Sonnenbild. Iſt dagegen das Prisma gehörig angebracht, d. h. ſo daß die Richtung der (durch die kleine Oeffnung in das dunkle Gemach) einfallenden Strahlen in einer gegen die Kanten des Prisma ſenkrecht gelegten Ebene des Querſchnittes des Prisma's liegt, ſo fällt ein rothes Bild der Sonne, weil dieſe rothes Licht hat, auf einen beſtimmten Ort der Tafel, ein orangefarbenes Bild auf einen etwas tiefer liegenden Ort, ein gelbes auf einen noch tiefer liegenden Ort u. ſ. w., bis einen am tiefſten liegenden Ort ein violettes Bild der Sonne einnimmt. Dieſe verſchiedenfarbigen Sonnenbilder fallen indeß nicht ſoweit aus einander, daß ſie in ihren runden Umgrenzungen genau von einander zu unterſcheiden wären, ſondern ſie fallen zum Theil auf einander und daher kommt es, daß indem z. B. Roth und Orange, ferner Orange und Gelb u. ſ. w. auf einander fallen, mancherlei Uebergangsfarben zwiſchen den angegebenen Hauptfarben wahrzunehmen ſind.

Digitized by Google

Im prismatischen Sonnenbilde gibt es einen Ort, wo gefärbte Strahlen jeder Art zusammentreffen, und dieser Ort erscheint weiß. Nehmen wir an RS (Fig. 124.) sei die das dunkle Gemach abgrenzende Wand, bei B habe sie die besagte kleine Oeffnung, durch welche ein Büschel Lichtstrahlen von der Sonne in das dunkle Gemach eindringt. ABC sei ein von dem oberen Sonnenrande kommender Lichtstrahl, aBc ein von dem unteren Sonnenrande kommender, XYZ sei der Durchschnitt des Prisma, durch welchen diese beiden Strahlen hindurchgehen, NM die das Sonnenbild auffangende Tafel. Durch das Prisma wird jeder Sonnenstrahl in seine verschiedenfarbigen Strahlen zerlegt, und es bezeichne cf den rothen, ch den grünen, cg den violetten Strahl, in den ac zerlegt wird, ferner Cf den violetten, CH den grünen, CF den rothen Strahl, in den AC zerlegt wird. Ein mittlerer Strahl a′c′ wird nach der Zerlegung durch das Prisma als grüner Strahl auf f fallen, und wie sich nach dieser Darstellung rothe, grüne und violette Strahlen in f treffen, so werden von den zwischen AC und ac liegenden Strahlen die anders gefärbten Strahlen gleichfalls in f eintreffen, so also daß f alle Farben wiederum vereinigt, folglich weiß erscheint. Die Betrachtung der Figur und Ueberlegung zeigen wie nur nach F zu reines rothes Licht und nur nach g zu reines violettes Licht auftreten könne, denn nach F gelangen durchaus keine anders gefärbte Strahlen als rothe, nach g zu keine anders gefärbte Strahlen als violette. Ueber H hinaus reicht kein grüner, blauer und violetter Strahl, über f hinaus kein violetter, eben so reicht über h hinauf kein grüner, gelber, oranger und rother und über f hinauf kein rother Lichtstrahl, nach der Annahme, daß AC und ac die Strahlen von dem äußersten Sonnenrande sind. Entfernt man die das Sonnenbild auffangende Tafel weiter vom Prisma, so etwa, daß sie die Stellung g′F′ einnimmt, so sieht man, wird das Sonnenbild größer als vorher; bei F′ ist reines Roth, unter H′ fällt kein grüner, blauer und violetter Strahl, unterhalb G′ kein violetter; bei g′ ist reines Violett, zwischen g′ und h′ fällt kein grünes, gelbes, oranges und rothes Licht, zwischen h′ und f kein rother Strahl.

Einen unbestreitbaren Beweis für die Entstehung weißen Lichtes aus dem Zusammentreffen aller farbigen Strahlen gibt folgendes Experiment. Man lasse die durch das Prisma hervorgebrachten farbigen Strahlen auf ein hinreichend großes converes Linsenglas fallen; so vereinigt dieses bekanntlich vor sich in Einem Punkte alle auf es fallenden Strahlen. Bringt man nun ein Blatt weißen Papieres nahe vor das Glas, so erscheinen auf demselben erst noch die verschiedenen Farben, entfernt man es aber allmählig, so zeigt sich endlich im Punkte der Vereinigung aller auf die Linse fallenden Strahlen ein helles weißes Sonnenbild; entfernt man das Blatt noch weiter über diesen Punkt hinaus, so gehen die Strahlen wieder auseinander und auf dem Blatte erscheinen wieder die verschiedenen Farben. Hält man eine oder mehre Farben ab die Linse zu treffen, so erscheint auf dem in den Vereinigungspunkt der Strahlen gehaltenen Blatte kein weißes, sondern ein (nach Maßgabe der zusammenkommenden Farben) gefärbtes Sonnenbild.

Digitized by Google

Um die in der oben angegebenen Erklärung vorausgeſetzte Annahme, daß die verſchieden gefärbten Lichtſtrahlen eine verſchiedene Brechbarkeit beſitzen, noch mehr zu beſtätigen, hat Newton folgenden Verſuch angeſtellt. (Vergl. den Art. Brechbarkeit Bd. I.) Wenn man die aus dem horizontalen Prisma ABC (Fig. 125.) hervorgehenden Strahlen, von welchen wir ſchon wiſſen, daß ſie in der Richtung über DH hinaus ein Farbenbild darſtellen würden, in DH auf einem zweiten verticalen Prisma, deſſen Are mit der verlängerten Richtung des Farbenbildes parallel iſt, auffängt, ſo erhält man ſtatt des Farbenbildes PT, welches nach der verticalen Richtung verlängert war, ein nach geneigter Richtung verlängertes Farbenbild. Dieſe Stellung des Farbenbildes läßt ſich leicht erklären; denn es iſt ſchon bekannt, daß alle von ABC nach PT zu gehenden Strahlen, indem ſie auf das zweite Prisma auffallen, nach der Seite gebrochen werden müſſen. Wären nun alle dieſe Strahlen in gleichem Grade brechbar, ſo würde etwa in p't ein dem vorigen Farbenbilde paralleles Farbenbild entſtehen; das aber zeigt ſich nicht, ſondern die violetten Strahlen geben in p ein weiter von P entferntes Bild und ſind alſo ſtärker gebrochen, die rothen Strahlen geben in t ein weniger von T entferntes Bild, und ſind alſo weniger als alle übrigen gebrochen; die zwiſchenliegenden Strahlen zeigen eine mittlere Brechbarkeit.

Schon Newton hat die Größe der Brechung der einzelnen Farbenſtrahlen zu beſtimmen geſucht, und nach ihm auch andere Phyſiker, doch waren genaue Beſtimmungen ſchwierig wegen der Unbeſtimmtheit der Grenzen der einzelnen Farben, die nicht ſcharf ſich abſchneiden, ſondern in einander verſchwimmen. Die genaueſten Beſtimmungen hat Frauenhofer in dieſer Beziehung gegeben. Ueber deſſen hierher gehörige Verſuche und Reſultate theilt Brandes folgendes mit. Um die einzelnen Farbenſtrahlen möglichſt rein zu erhalten, wurde an einem Fenſterladen ein Prisma A (Fig. 126.) von Flintglas aufgeſtellt und 13 Fuß davon in BC ſechs Lampen, von welchen durch ſehr ſchmale Oeffnungen das Licht auf das Prisma A fiel. Das ſo auffallende Licht wird durch das Prisma A in Farbenſtrahlen zerlegt und fährt durch die Oeffnung des Fenſterladens. Es läßt ſich nun wohl einſehen, daß, indem die von der Lampe C herkommenden Strahlen ihr rothes Licht nach E, ihr violettes Licht nach D werfen, und indem die von der Lampe B kommenden Strahlen ihr rothes Licht nach F, ihr violettes Licht nach G werfen, es ſich ſo einrichten läßt, daß ein entfernt ſtehendes Prisma H von der Lampe C nur die rothen, von der Lampe B nur die violetten Strahlen erhält, und ſo von jeder zwiſchen jenen ſtehenden Lampe einen andern Farbenſtrahl, der immer von demſelben Punkte, nämlich von der engen Oeffnung im Fenſterladen bei A ausgeht. Bei Frauenhofer's Verſuchen ſtand das Prisma H um 692 Fuß von A entfernt, und wenn man nun die aus dem Prisma H hervorgehenden Strahlen auf das Objectiv am Fernrohre eines Theodoliten fallen ließ, ſo ſtellten ſich, durch das Fernrohr geſehen, die Spectra der von A herkommenden Lichtſtrahlen ſo dar, wie die Fig. 127. es angibt, in welcher I violett, K blau, L grün, M gelb, N orange, O

Digitized by Google

roth bedeutet. Die Farben erscheinen also isolirt und die Entfernungen ON, MN u. s. w. sind (bei gleichem brechenden Winkel des Prisma's II) desto größer, je mehr dieses Prisma II die Farbe zerstreut. Diese Entfernungen werden mit einem Mikrometer gemessen, und da sich auch die Richtung der einfallenden Strahlen mit dem Theodolit bestimmen läßt, so erhält man hier die Brechung aller einzelnen Strahlen.

Indeß war auch hier die Frage, welcher genaue Punkt des Farbenbildes denn in jedem beobachteten Farbenstrahle eigentlich beobachtet werde, noch nicht ganz strenge zu beantworten, und Frauenhofer fügte daher noch eine Beobachtung hinzu, die sich auf die von ihm zuerst entdeckten Lichtlinien im Farbenspectrum (s. d. Folg.) stützt. Er brachte nämlich genau vertical oberhalb der bei A gezeichneten Oeffnung noch eine zweite an, vor welcher eine Lampe stand, die ihr volles Licht auf das Prisma II warf, und daher im Fernrohr des Theodoliten ein Farbenbild PQ gab, welches alle Farben enthielt. In diesem Farbenbilde gab es, wie Frauenhofer entdeckt hatte, allemal an derselben Stelle einen hellen, scharf begrenzten Streifen, der zur genauen Angabe des Ortes, den jeder jener Farbenstrahlen im Farbenbilde einnahm, und zur Prüfung, ob die Stellung der Lampen keine Aenderung gelitten hatte, diente.

Von den Resultaten dieser Versuche führt Brandes nur einige an, welche den Werth des Brechungsverhältnisses *) für verschiedene Strahlen für Flintglas, Crownglas und Wasser angeben.

Brechende Mittel	Exponenten der Brechungs-Verhältnisse					
	für O	N	M	L	K	I
	roth	orange	gelb	grün	blau	violett
Flintglas Nr. 13.	1,63074.	1,63505.	1,63933.	1,64349.	1,64775.	1,65203.
Crownglas Nr. 9.	1,52736.	1,52959.	1,53173.	1,53380.	1,53586.	1,53783.
Wasser	1,33209.	1,33359.	1,33501.	1,33635.	1,33763.	1,33888.

Die einzelnen Farben des prismatischen Sonnenbildes unterscheiden sich sowohl durch Größe des Raumes, den sie einnehmen, als auch durch Lichtstärke und Fähigkeit zu erwärmen. Ueber die Ausdehnungen der einzelnen Farben im Sonnenbilde gibt Newton die Bestimmung, daß wenn man das ganze Bild (Spectrum, lat.) in 360 Theile, nach Analogie der Kreiseintheilung, zerlege, Violett 80, Indigo 40, Blau 60, Grün 60, Gelb 48, Orange 27, Roth 45 solcher Theile einnehme. Herschel hat Beobachtungen über die größere oder geringere Lichtstärke der einzelnen Farben des Spectrums angestellt. Bei diesen Beobachtungen betrachtete er verschiedene Gegenstände durch ein Mikroskop, während diese Gegenstände bald mit der einen bald mit der andern prismatischen Farbe erleuchtet waren. Herschel fand, daß die Gegenstände am stärksten durch das gelbe Licht erleuchtet wurden, besonders wenn sie in die Gegend des Farbenbildes gebracht wurden, wo das vollkommene Gelb in Grün überzugehen beginnt. Wenn man sich von

*) Vergl. d. Art. Brechung.

Digitized by Google

dieser Gegend nach der einen oder der anderen Seite entfernte, so war die Erleuchtung schwächer, im Orange schwächer als in Gelb, im Roth schwächer als im Orange, und ebenso im Grün nicht ganz so stark als in dem angegebenen Uebergange von Gelb in Grün, im blauen Lichte ward die Erleuchtung immer schwächer, je mehr man sich von der Mitte des Farbenbildes entfernte, im Violett aber schwächer als in irgend einem der übrigen Farbenstrahlen. Noch genauere Beobachtung über die Lichtstärke der einzelnen Farben hat Frauenhofer angestellt, die übrigens mit den Beobachtungen Herschels übereinstimmen.

Vermöge einer eigenthümlichen Vorrichtung verglich Frauenhofer die Erleuchtung, welche die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums gewährten, mit der Erleuchtung, die das zugleich gesehene Licht einer Flamme gewährte, welche in verschiedene Abstände gestellt wurde, und beobachtete, bei welchen Abständen der Flamme beide Erleuchtungen einander gleich kamen. Da die Erleuchtung durch die Flamme dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist, so ließ sich aus den verschiedenen Entfernungen, in welche die Flamme bei den verschiedenen Farben gestellt werden mußte, um mit ihnen gleiche Erleuchtung zu geben, die erleuchtende Kraft dieser Farben schätzen. Solchergestalt fand er, daß der hellste Ort des Farbenbildes um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge desselben vom rothen Endpunkt entfernt liegt. Die Fig. 128. gibt eine graphische Darstellung der Intensitäten des Lichts an den verschiedenen Stellen des Farbenbildes, indem diese nämlich durch die Höhen (Ordinaten) der Curve, welche über der Figur verzeichnet ist, an jeder einzelnen Stelle vorgestellt werden. Ungefähr bei A ist das rothe, bei J das violette Ende des Farbenbildes, jedoch ohne ganz scharfe Grenze.

Folgende Zahlen geben die Verhältnisse der Intensitäten an, das Maximum = 1,00 gesetzt:

bei B	= 0,032
bei C	= 0,094
bei D	= 0,64
Maximum	= 1,00
bei E	= 0,48
bei F	= 0,17
bei G	= 0,031
bei H	= 0,006

Also ist das gesammte Licht in den einzelnen Theilen des Farbenbildes etwa so vertheilt, daß auf die einzelnen Räume folgende verhältnißmäßige Quantitäten Licht kommen:

das im Raume DE vorhandene Licht = 1 gesetzt	oder	die ganze Summe des Lichts im Farbenspectrum = 1 gesetzt.
BC = 0,021		= 0,0113
CD = 0,299		= 0,1599
DE = 1,000		= 0,5354
EF = 0,328		= 0,1757
FG = 0,185		= 0,0990
GH = 0,035		= 0,0187

Digitized by Google

Bei Gelegenheit der Untersuchungen des prismatischen Farbenbildes hat Frauenhofer eine sehr merkwürdige und vielfach nützliche Entdeckung gemacht. Es war nämlich früher nicht möglich bestimmte Stellen im Farbenspectrum zu fixiren, da die verhältnißmäßigen Abstände von den Enden des Spectrums keine sicheren Bestimmungen zulassen; weil diese selbst nicht scharf begrenzt sind und man bei recht lebhaftem, auf das Prisma fallenden Lichte, wenn man die hellern Theile des Farbenbildes verdeckt, um das Auge nicht durch sie zu blenden, noch weit über die dem Auge gewöhnlich sichtbaren Grenzen hinaus ein Roth an dem einen und ein Violett an dem anderen Ende des Farbenbildes wahrnimmt. Frauenhofer bemerkte zuerst in dem durch das Prisma gesehenen Lampenlichte zwischen dem Roth und Gelb einen hellen scharf begrenzten Streifen, der, durch welchen der gewöhnlichen brennbaren Körper auch das Brennen der Flamme unterhalten werden mochte, sich stets genau an demselben Orte fand, und durch Lichtstrahlen gebildet zu werden schien, die durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden, folglich einfach sind. Auch in der grünen Farbe findet sich ein ähnlicher Streif, der aber nicht so scharf begränzt und ungleich schwächer ist, so daß man ihn in einigen Fällen schwer erkennt. *) In dem Farben-

*) Frauenhofer entdeckte diese Linien im Farbenbilde, indem er vor dem Fernrohr eines Theodolithen ein Prisma von Flintglas aufstellte, auf welches durch eine schmale, etwa 15 Sec. breite und 36 Min. hohe Oeffnung in dem 24 Fuß vom Prisma entfernten Fensterladen das Sonnenlicht fiel. Der Winkel des Prisma's war ungefähr 60 Grad und das Prisma stand so vor dem Objectiv des Theodolithenfernrohrs, daß der Winkel des einfallenden Strahls dem des gebrochenen Strahls gleich war. Wenn Frauenhofer das Prisma drehte, so daß der Einfallswinkel größer oder kleiner wurde, so verschwanden diese Linien, wurden jedoch wieder sichtbar, wenn er bei vergrößertem Einfallswinkel das Fernrohr sehr bedeutend kürzer machte, und bei Verminderung des Einfallswinkels das Ocular sehr viel herauszog. Und wenn das Ocular so gestellt war, daß man die Linien im rothen Theile des Farbenbildes deutlich sah, so mußte man es etwas hineinschieben, um die im violetten Theile deutlich zu sehen. Wurde die Oeffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter gemacht, so wurden die feinern Linien undeutlich und verschwanden ganz, wenn diese Oeffnung über 40 Secunden breit war; und bei einer Oeffnung, die mehr als 1 Min. Breite hatte, waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu erkennen. Bei Veränderung der Oeffnung im Fensterladen, wobei indeß die Entfernung des Theodoliths von derselben nicht verändert wurde, blieb die Entfernung dieser Linien von einander, und überhaupt ihr Verhältniß unter sich, unverändert. Daß die Linien undeutlich werden, oder gar verschwinden, wenn die Oeffnung am Fenster zu breit wird, rührt von folgender Ursache her. Die stärkern Linien haben ungefähr 5 bis 10 Sec. Breite. Ist die Oeffnung im Fensterladen nicht so schmal, daß das Licht, welches durch sie hindurchgeht, gleichsam nur für einen Strahl anzusehen ist, oder beträgt die Breite der Oeffnung im Winkel bedeutend mehr als die Breite der Linien,

Digitized by Google

ſpectrum des Sonnenlichts entdeckte Frauenhofer ſtatt dieſer Streifen faſt unzählig viele ſtarke und ſchwache Linien, ſenkrecht auf der Längenausdehnung deſſelben ſtehend, die aber nicht heller, ſondern dunkler ſind, als der übrige Theil des Farbenbildes, und von denen einige ganz ſchwarz zu ſein ſcheinen. Dieſe Linien zeigen ſich ſtets, aus was für einem brechenden Mittel auch das Prisma beſteht, und wie ſein brechender Winkel beſchaffen ſein mag, nur daß ſie im Verhältniß der Größe des Farbenbildes ſtärker oder ſchwächer und daher leichter oder ſchwerer zu erkennen ſind. Selbſt das Verhältniß dieſer Linien und Streifen unter ſich ſcheint bei allen brechenden Mitteln genau daſſelbe zu ſein, ſo daß z. B. ein gewiſſer Streif ſich bei allen nur in der blauen Farbe, ein andrer nur in der rothen Farbe findet; daher es leicht zu erkennen iſt, mit welchen Streifen oder Linien man zu thun hat. Sie ſind ſowohl in dem gewöhnlich als in dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle des Isländiſchen Spaths vorhanden. Die ſtärkeren Linien machen keineswegs die Gränzen der verſchiedenen Farben; es iſt faſt immer zu beiden Seiten einer Linie dieſelbe Farbe und der Uebergang von einer Farbe in die andere unmerklich. Das Farbenbild der Sonne erſcheint hiernach ungefähr wie Fig. 128. darſtellt.

ſo fällt das Bild einer und derſelben Linie mehrmal neben einander hin und wird folglich undeutlich oder verſchwindet bei zu großer Weite der Oeffnung ganz. Ebenſo läßt ſich auch theoretiſch zeigen, warum beim Verdrehen der Prismen die Linien und Streifen nicht geſehen werden. Bei der ſo geringen Breite der Linien und Streifen im Farbenbilde wird, um ſie gehörig darzuſtellen, ein Apparat von großer Vollkommenheit erfordert, mit dem man allen Abweichungen entgeht, welche ſie undeutlich machen oder ganz zerſtreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müſſen daher ſehr gut plan und das Glas der Prismen ganz frei von Wellen und Streifen ſein. Mit engliſchem Flintglaſe, das nie ganz frei von Streifen iſt, bekommt man nur die ſtärkern Linien zu ſehen, und da auch das gemeine Tafelglas und das engliſche Crownglas ſehr viele Streifen enthalten, wenn ſie auch für das freie Auge nicht ſichtbar ſind, ſo wählt man, wenn man nicht im Beſitze eines Prisma von vollkommenem Flintglaſe iſt, am beſten eine ſtark zerſtreuende Flüſſigkeit, z. B. Aniöl, um alle Linien zu ſehen; doch muß dann das prismatiſche Gefäß ſehr vollkommen plane und parallele Seitenflächen haben. Bei allen Prismen müſſen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 60° machen, und die Grundfläche muß horizontal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Axe des Fernrohrs vertical läuft. Die ſchmale Oeffnung, durch welche das Licht einfällt, muß genau vertical ſtehen u. ſ. w.

Nach Pfaff's Bemerkung haben übrigens die Streifen bloß dann eine geradlinige Geſtalt, wenn die Oeffnung, durch die das Licht einfällt, von geradliniger Figur iſt. Als Pfaff das Licht durch eine mondförmige, auf beiden Rändern ſchwach convexe Oeffnung, ja durch eine feine ganz kreisförmige Oeffnung einfallen ließ, nahmen die dunkeln Streifen immer die Geſtalt der Oeffnung an.

Digitized by Google

Aus diesen dunklen Linien im Spectrum scheint zu folgen, daß nicht in steiger Folge die Brechbarkeit der farbigen Strahlen sich ändere, sondern, daß diese Aenderung hier und da sprungweise geschehe, in welchem Falle dann, wenn der auffallende Strahlenbündel sehr schmal ist, allerdings Lücken entstehen müssen. *)

Daß die verschieden gefärbten Strahlen auch von verschiedener Fähigkeit zu erwärmen sind, hat Herschel entdeckt und interessante Beobachtungen darüber angestellt. Er ließ durch einen engen Spalt Licht in ein dunkeles Zimmer fallen, und fing dasselbe mittelst eines Prisma's auf, welches so gestellt war, daß seine Kanten der Richtung des Spaltes parallel waren; hierauf wurde ein Thermometer bald in den einen, bald in den anderen Farbenstrahl gestellt und beobachtet: Ein anderes Thermometer war außerhalb des Farbenbildes aufgestellt. Im Mittel wurde das Queckſilber des Thermometers im rothen Lichte in 16 Minuten um $6\frac{7}{8}$ Grad, in dem grünen Lichte um $3\frac{1}{4}$ Grad, in dem violetten Lichte um 2 Grad F. gehoben. Die stärkste Erwärmung brachte also das rothe Licht hervor, aber noch höher wurde das Thermometer gehoben, wenn es sich außerhalb des sichtbaren Farbenbildes nahe an der scheinbaren Grenze des Roth befand, also da, wo nach der oben angeführten Bemerkung rothe Strahlen zwar noch hinfallen, durch das Auge aber nur dann wahrgenommen werden, wenn die übrigen Farbenbilder auf irgend eine Weise demselben entzogen werden. Ein

*) Die Spectra vom Lichte des Mars und der Venus enthalten dieselben fixen Linien, wie das Sonnenlicht und genau an demselben Orte; die Fixsterne geben ein Spectrum zwar auch mit fixen Linien, die Stellen derselben kommen aber nicht allenthalben mit denen des Sonnenspectrums überein. Das Licht der Elektricität unterscheidet sich hinsichtlich der Streifen und Linien im Spectrum sowohl vom Sonnenlichte, als auch vom Lichte des Feuers sehr bedeutend. Im Farbenbilde des elektrischen Lichtes finden sich mehre, zum Theil sehr helle Linien, unter denen eine im Grünen gegen den übrigen Theil des Bildes fast glänzend hell ist. Eine andere nicht ganz so helle Linie ist im Orange. Diese letztere scheint dieselbe Farbe zu haben, wie die helle Linie im Farbenbilde vom Lampenlichte; mißt man aber den Winkel der Brechung, so findet man, daß ihr Licht bedeutend stärker gebrochen ist, ungefähr so wie die gelben Strahlen beim Lampenlichte. Gegen das Ende des Farbenbildes im Rothen bemerkt man eine Linie, die nicht sehr hell ist, aber eben so stark gebrochen als das der hellen Linie vom Lampenlichte. In den übrigen Theilen des Farbenbildes unterscheidet man deutlich noch 4 helle Linien.

Brewster hat in neuester Zeit entdeckt, und Miller in Bezug hierauf interessante Beobachtungen angestellt, daß Licht, welches durch gewisse farbige Gase gegangen ist, ein von unzähligen dunklen Linien durchschnittenes Spectrum gibt. Miller fand unter anderem, daß Brom- und Joddampf Linien von identischer Lage geben, welches, da diese Körper auch übrigens in ihren physischen Eigenschaften sehr übereinstimmen, bemerkenswerth ist.

Digitized by Google

Thermometer, welches $\frac{1}{2}$ Zoll von der Grenze des sichtbaren Roth abstand, stieg in 10 Minuten um $6\frac{1}{2}$ Grad, wenn es 1 Zoll abstand um $5\frac{1}{4}$ Grad, und wenn $1\frac{1}{2}$ Zoll um $3\frac{1}{8}$ Grade. Um noch genauer zu untersuchen, ob es wirklich außerhalb des vom Auge wahrgenommenen Farbenspectrums Wärmestrahlen gäbe, stellte Herschel noch besondere Versuche an. Unter anderem stellte er einen zur Hälfte bedeckten Hohlspiegel so, daß der unbedeckte Theil ganz außerhalb der Grenze des Farbenbildes lag und also nur von jenen jenseits des wahrnehmbaren Roths gehenden Strahlen getroffen werden konnte: ein in den Brennpunkt gehaltenes Thermometer stieg in Einer Minute um 19 Grade. Spätere Versuche von Englefield bestätigen Herschels Beobachtungen. Derselbe ließ auf eine Glaslinse von 4 Zoll Oeffnung und 22 Zoll Brennweite, die durch einen Pappenschirm gegen die übrigen Strahlen geschützt wurde, nur diejenigen Farbenstrahlen, die durch eine $\frac{1}{2}$ Zoll weite, 3 Zoll lange Oeffnung in jenem Schirme durchgelassen wurden, auffallen, deren Wirksamkeit untersucht werden sollte. Er stellte dann ein Thermometer im Brennpunkt auf, und ließ von den durch das Prisma zerstreuten Strahlen bald den einen, bald den andern Theil auf die Oeffnung im Schirm und so auf die Linse fallen. Der blaue Strahl brachte in 3 Min. das Thermometer nur 1 Gr. höher, der grüne in eben der Zeit 4 Gr., der gelbe 6 Gr., der rothe in $2\frac{1}{2}$ Min. $15\frac{1}{2}$ bis 16 Gr., und außerhalb des Farbenbildes nahe an der Grenze des Roth stieg das Thermometer in $2\frac{1}{2}$ Min. 18 Gr. F. Andere Versuche fielen im Wesentlichen eben so, nämlich beweisend für Erwärmung da, wo kein Roth des Farbenbildes mehr sichtbar war, aus; indeß zeigte sich, selbst wenn das ganze Farbenbild auf den Schirm fiel, und die Oeffnung $\frac{3}{8}$ Zoll von der sichtbaren Grenze des Roth entfernt lag, im Brennpunkte noch ein schwachrother Schimmer, also gesammelt aus Strahlen, die das Auge auf dem Schirme nicht bemerkte.

Auch Versuche von Berard gehören hierher. Ruhland hat gefunden, daß bei Prismen von verschiedenen Materien auch der Ort der größten Wärme ein verschiedener sei. Bei einigen Glasprismen und bei einem Prisma von Borax fand ihn Ruhland außerhalb der sichtbaren Grenze des Roths liegend, bei andern lag er im Roth und bei Prismen, die mit flüssigen Körpern gefüllt waren, bei einigen im Gelb.

Eine neue Verschiedenheit zeigen die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen in ihren chemischen Wirkungen. Scheele beobachtete, daß das Hornsilber (salzsaure Silber), welches im Sonnenlichte schwarz wird, am frühesten in dem (nach dem Vorhergehenden wärme- und lichtärmsten) violetten Lichte verändert werde. Wie Herschel die größte Wärme jenseits der sichtbaren Grenze des rothen Lichtes fand, so bemerkte Ritter, daß die stärkste Schwärzung des Hornsilbers jenseits der sichtbaren Grenze des Violetts erfolge, von da nahm die Reduction durch Violett und Blau allmählig ab und hörte nahe hinter Grün ganz auf, im Orange und Roth schien eine Oxydation einzutreten. Fischer fand, daß Violett und Blau die stärkste Schwärzung des Hornsilbers bewirkten, schon nach wenigen Minuten, während der rothe Strahl in zwei Stunden noch keine Färbung hervorbrachte. Fischer setzte auch unter blauen

Digitized by Google

und rothen Gläſern ſalzſaures Silber der Einwirkung des Lichtes aus, und fand, daß nur unter den blauen Gläſern Schwärzung erfolgte.

Ueber die chemiſche Wirkung des farbigen Lichtes hat ferner Wollaſton Verſuche angeſtellt. Guajacharz, in Alkohol aufgelöſt, gibt eine Tinktur, die unter Einwirkung des Lichtes grün wird. Da die Farben des durch ein Prisma zerſtreuten Sonnenlichtes keine Wirkung zeigten, ſo concentrirte Wollaſton ſie, indem er eine Glaslinſe von 7 Zoll Durchmeſſer ſo bedeckte, daß nur ein ſehr ſchmaler Rand die Lichtſtrahlen empfing. Dieſer Ring vereinigt bekanntlich die rothen Lichtſtrahlen in einem andern Brennpunkte, als die violetten. Fing man das Bild näher beim Glaſe, als wo der Brennpunkt lag, auf, ſo war es wie allemal, innen Violett, außen Roth gefärbt; bei $24\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung war der Brennpunkt am glänzendſten; in größerer Entfernung war das Farbenbild wieder ringförmig und am äußern Rande violett, am innern roth. Setzte man dieſen Strahlen das ſalzſaure Silber aus, ſo entſtand in kleinern Entfernungen als $22\frac{1}{4}$ Zoll ein geſchwärzter Ring; in $22\frac{1}{2}$ Zoll ein Fleck, der bei 23 Zoll Entfernung am kleinſten war; in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung wurde die geſchwärzte Stelle wieder ringförmig. Auch bei dem mit Guajactinktur beſtrichenen Papier zeigte ſich das Grün am ſchnellſten und ſchönſten in 23 Zoll Entfernung; in kleinern Entfernungen war die gefärbte Stelle größer und bläſſer, in $22\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung entſtand ein grüner Ring mit farbenloſem Mittelpunkte, in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung (alſo in dem am meiſten erleuchteten Brennpunkte) erfolgte in der den frühern Beachtungen immer gewidmeten Zeit von 1 Min. faſt keine Wirkung. Nahm man Guajacpapier, das ſchon in der Sonne grün geworden war, und brachte dieſes in $25\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung hinter der Linſe an, ſo ging die Farbe in das Blaßgelb zurück, welches ſie vor der Einwirkung des Lichts hat; indeß bemerkt Wollaſton, daß dieſe Wirkung, die allerdings eine entgegengeſetzte Beſchaffenheit derjenigen Strahlen anzudeuten ſcheint, die in der Gegend des Roth liegen, auch durch bloße Hitze hervorgebracht wurde. Die wirkſamſten Strahlen zur Färbung des Guajacpapiers waren alſo die am ſtärkſten gebrochenen, die ſich ſchon in 23 Zoll Entfernung in einem Focus ſammelten, ſtatt daß die glänzendſten ihren Focus erſt in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung hatten.

Beſonders auffallend iſt die Erſcheinung, daß ein Gemenge von Chlorgas und Waſſerſtoffgas nicht explodirt, wenn die violetten und blauen Strahlen des Sonnenlichtes von ihm abgehalten werden. Vergl. d. Art. Chlor S. 388. Seebeck fand, daß unter einer blauen Glocke die Zerſetzung einer Miſchung von Chlorgas und Waſſerſtoffgas in ſehr kurzer Zeit erfolgte, unter einer gelbrothen Glocke dagegen ſelbſt in längerer Zeit nur höchſt unvollkommen. *) Seebeck fand ferner,

*) Nach Suckow gilt das Angeführte nur von gleichen Mengtheilen Chlor- und Waſſerſtoffgas; iſt dagegen Chlor vorherrſchend, etwa 3 Theile Chlor- und 2 Theile Waſſerſtoffgas, oder 2 Theile Chlor- und 1 Theil Waſſerſtoffgas, ſo explodirt das Gemenge bei jeder auch nur ſchwachen Beleuchtung.

Digitized by Google

daß der Bononische Leuchtstein im violetten Lichtstrahl und sogar noch darüber hinaus am besten leuchtend wird; im blauen Lichte nimmt sein Glanz wenig ab, in den folgenden Farben aber leuchtet er unvollkommener. Merkwürdiger noch ist, daß der hinter blauem Glase leuchtende Bononische Phosphor sein Licht hinter gelbrothem sogleich verliert.

Frisch bereitete Aloëtinktur hat eine bleiche gelbrothe Farbe, sobald man dieselbe aber nur kurze Zeit dem Lichte hinter violetten oder blauen Gläsern aussetzt, nimmt sie nach Ruhland eine dunkel blutrothe Farbe an, in den weniger brechbaren Farben dagegen (in Roth, Gelb, Grün) verändert sie ihre Farbe nicht. Rothes Queckſilberoxyd blieb ebenfalls nach Ruhland's Versuchen in den weniger brechbaren Strahlen Monate lang unverändert, hinreichend starkes Licht der mehr brechbaren Farben (Blau und Violett) dagegen reducirte es bald so, daß fließendes Queckſilber sich ansammelte. *) Ferner blieben auch Nußöl, Mohnöl, Olivenöl in rothem, gelbem und grünem Lichte unverändert, wie wenn man sie im Dunklen aufbewahrt, hinter blauen und violetten Gläsern aber dem Lichte ausgesetzt, wurden sie fast wasserhell und absorbirten Sauerstoff.

Auch die Pflanzen zeigen ein verschiedenartiges Verhalten gegen das Licht, indem sie in den mehrbrechbaren Strahlen gegen das Licht sich wenden, wie sie auch in Bezug auf unzerstreutes Sonnenlicht thun, im rothen und gelben Lichte aber sich abkehren und ihre Farbe verlieren. Wenn man zarte Pflanzen der Mimosa pudica während ihres nächtlichen Pflanzenschlafes in völliges Dunkel bringt und sodann am Morgen die eine Pflanze hinter rothe oder gelbe, die andere hinter violette oder blaue von der Sonne hell beschienene Gläser bringt, so öffnen sich die Blätter der Pflanze hinter den rothen Gläsern schneller als die der Pflanze hinter den blauen, aber die Blätter der letzteren bleiben so lange ausgebreitet, als sie vom Lichte beschienen werden, und schließen sich des Nachts vollkommen wieder, wogegen die Blätter der Pflanze im rothen Lichte nach einigen Tagen rückwärts sich beugen, so daß die Oberfläche der Blätter nach Außen zu stehen kommen, sich des Nachts nur unvollkommen schließen und ihre Reizbarkeit zu verlieren scheinen.

Nach der Behauptung einiger Physiker soll das violette Licht noch die Eigenschaft haben, Stahl magnetisch zu machen. Nach Lady Sommerville soll man eine Stahlnadel, um sie magnetisch zu machen, mit demjenigen Theile, welcher Nordpol werden soll, dem violetten Lichte aussetzen, den übrigen Theil der Nadel aber bedeckt halten. Morichini hält die zu magnetisirende Stahlnadel nicht genau im magnetischen Meridiane, sondern mit etwas westlicher Abweichung, horizontal, vereinigt mittelst einer Linse die blauen und violetten Strahlen des Farbenbildes der Sonne, und führt dieß concentrirte blaue Licht wiederholt von der Mitte nach dem nordwestlich gerichteten Ende der Nadel hin. Bei einem solchen Versuche wurde nach Gmelin's Zeugniß

*) Nach Suckow wird das rothe Queckſilberoxyd auch durch farbloses Sonnenlicht zersetzt, aber nicht durch rothes.

Digitized by Google

die Stahlnadel nach einer kleinen halben Stunde so magnetisch, daß sie Eisenfeilicht anzog. Blaues und grünes Licht sollen ebenfalls Magnetismus in Stahlnadeln erregen, nicht aber rothes und gelbes, selbst nicht nach dreitägiger Fortsetzung des Versuches. Als Bedingung zum Gelingen des Versuches mit violettem Lichte wird angegeben, daß der Himmel heiter sein müsse, auch fand Lady Sommerville als günstige Zeit zum Gelingen des Versuches die Zeit zwischen 10 und 1 Uhr und den Sommer. Hiernach scheint der Stand der Sonne oder die Schiefe ihrer Strahlen von wesentlichem Einflusse zu sein. Auch Baumgartner hat Versuche über Magnetisirung von Stahlnadeln durch violettes Licht angestellt; und derselbe fand, daß schon eine ungleiche Einwirkung des weißen Lichtes auf die entgegengesetzten Theile der Nadel hinreichend sei, den Stahl magnetisch zu machen. Als er durchaus unmagnetische Stahlnadeln stellenweise polirte und sodann dem Lichte aussetzte, so wurden die polirten Theile Nordpole, die nichtpolirten Südpole. *) In neuerer Zeit haben aber Rieß und Moser Versuche angestellt, welche zu einem dem angeführten ganz entgegengesetzten Resultate führen, und nach denen keine Erzeugung von Magnetismus im Stahle durch Licht erregt werden soll. In wiefern die früheren Beobachter aber sich in ihren Versuchen getäuscht haben, müssen noch fernere Beobachtungen entscheiden.

Die Farben des durch das Prisma gegebenen Sonnenbildes haben die Eigenthümlichkeit, daß sie sich weiterhin durch ein zweites Prisma nicht aufs neue in Farbenstrahlen zerlegen lassen, wie dieses der im Art. Brechbarkeit S. 332 angeführte von Newton zuerst angestellte Versuch darthut. Newton nennt deßwegen die im prismatischen Sonnenbilde erscheinenden Farben: einfache, homogene (griech.) d. h. gleichartige Farben, auch Grundfarben oder ursprüngliche Farben. Von der am geringsten brechbaren an gerechnet, sind dieselben nach Newton: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, also sieben, oder wenn man Blau und Indigo zusammenfaßt sechs. Schon aber ist erwähnt worden, wie die eine Farbe die andere im Sonnenbilde selbst übergeht, wie man daher von einer bestimmten Anzahl der Abstufungen nicht sprechen kann, nur die angeführten Frauenhoferschen Lichtlinien scheinen für einen nicht vollkommen stetigen Uebergang der Farben in einander zu sprechen, immer aber bleibt dieses bemerkenswerth, daß nur die angegebenen 6 oder 7 Farben als vollkommen entschieden hervortretende, sich von den andern unterscheidende, erscheinen.

Wie sich alle Farben des Sonnenbildes durch eine sie auffammelnde Linse wiederum in einen weißen leuchtenden Punkt vereinigen lassen, so

*) Baumgartner erhitzte einen Draht von englischem Stahle, so daß er sich ganz mit schwarzem Oxyd bedeckte; entfernte dann das Oxyd an einer oder mehren Stellen mittelst eines geölten Steines, und polirte ihn hier vollends mittelst Kreide und Lindenholzes, so daß die Nadel glänzende Stellen von zwei bis drei Linien Länge erhielt.

Digitized by Google

kann man auch je zwei oder mehre besondere Farben des Spectrums wieder zusammenbringen und erhält dann eine neue Farbe, welche der vorgenommenen Mischung entspricht. Diese Mischfarben gleichen zum Theil den auch im Sonnenbilde vorkommenden einfachen Farben, denn die Mischung jeder zwei Farben des Spectrums gibt die zwischen den gemischten Farben im Spectrum mitteninne liegende Farbe. So z. B. entsteht aus der Vermischung des Orange und Grünlichgelb Gelb; aus der Vermischung des Grünlichgelb und Bläulichgrün Hellgrün; dasselbe erhält man auch aus Blau und Gelb. Bläulichgrün und Indigo geben Blau; Blau und Roth geben Violett. Dieser letzte Umstand ist besonders bemerkenswerth, indem sich durch denselben die ganze Farbenreihe als ein in sich zurücklaufender Kreis darstellt, weil Violett auf Roth zu folgen scheint, nicht anders als auf dieses Blau. Um diese Mischungsversuche der einfachen Farben des Sonnenspectrums anzustellen, lasse man wie gewöhnlich einen dünnen Bündel Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen, stelle ihm unfern der Oeffnung ein Prisma horizontal entgegen und fange das farbige Spectrum mittelst einer kleinen Tafel auf, in welcher über einander verschiedene Schieber angebracht sind, mittelst deren man durch die Tafel gehende Spalten in verschiedener Höhe beliebig öffnen und schließen kann. Oeffnet man nun z. B. zwei Spalten, da wo zwei bestimmte Farben des Spectrums auf der Tafel erscheinen, so gehen diese und keine anderen Farben durch die Tafel hindurch. Die durchgelassenen Farbenstrahlen fängt man mittelst einer Linse auf, welche um ihre doppelte Brennweite vom Prisma entfernt ist, dann erscheint auf einer weißen Tafel, in gleicher Entfernung von der Linse aufgestellt, in welcher diese vom Prisma absteht, die aus den durch die Spalten in der angegebenen Tafel hindurchgelassenen Farben entstehende Mischfarbe. Rückt man aber die weiße Tafel aus dem angegebenen Punkte heraus näher oder ferner der Linse, so erscheinen die Farben wieder getrennt. *) Die durch Mischung entstandenen Farben machen zum Theil denselben Eindruck auf das Auge, wie die einfachen Farben des Spectrums, aber dadurch unterscheiden jene sich wesentlich von diesen, daß jene sich in ihre Bestandtheile wieder zerlegen lassen, also durch das Prisma betrachtet, in die einfachen Farben, aus denen sie entstanden, gebrochen erscheinen, während, wie schon oben gesagt, die einfachen Farben nicht weiter zerlegt werden können.

Indem Newton die verschiedenen Antheile einfachen Lichtes, welche zusammen das Farbenbild ausmachen, als eben so viel Kräfte, die auf das Auge wirken, betrachtete und den Einfluß dieser Kräfte in den verschiedenen Gemischen, die sich nach dem eben angegebenen Verfahren, durch Sammlung der prismatischen Farben im Vereinigungspunkt einer

*) Da die Strahlen im Vereinigungspunkte sich kreuzen, so ist klar, daß, wenn die Tafel weiter als dieser Punkt von der Linse entfernt steht, die Farben in umgekehrter Ordnung auf ihr erscheinen müssen, als wenn sie zwischen der Linse und dem Vereinigungspunkte steht.

Digitized by Google

Linse bilden lassen, maß, erhielt er eine empirische Regel, nach welcher sich zum Voraus die Art Farbe berechnen läßt, welche aus einer Vermischung einfacher Strahlen von gegebener Art und in gegebenen Verhältnissen, hervorgehen muß.

Man beschreibe vom Mittelpunct C, Fig. 129., aus einen Kreis mit einem der Einheit gleich gesetzten Halbmesser; theile seinen Umkreis in sieben Theile, welche sich wie die Zahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, verhalten, so daß man, durch Zurückführung dieser Theile auf Grade, hat:

RO	= 60°	45′	34″
OG	= 34	10	38
GGr.	= 54	41	1
Gr.B	= 60	45	34
BI	= 54	41	1
IV	= 34	10	38
VB	= 60	45	34

Man betrachte jetzt diese verschiedenen Bogen nach der Reihe, in der sie sich folgen, als die sieben Hauptfarben des einfachen Lichts, welche das Spectrum zusammensetzen, darstellend, so daß der volle Umkreis die ganze Reihe von Farbenabstufungen, durch welche dieß Licht von den ersten rothen bis zu den letzten violetten Strahlen hindurchgeht, vorstellt. Darauf bestimme man die Schwerpunkte roggrbiv aller dieser hinter einander folgenden Bogen, denke sich an jedem derselben ein Gewicht, der Totallänge des ihm entsprechenden Bogens proportional, befindlich, und betrachte diese Gewichte als eben so viel Kräfte, welche den Mittelpunct C und das als daselbst befindlich angenommene Auge an sich zu ziehen streben. Bei der gegenwärtigen Annahme ist es offenbar, daß das Auge in Ruhe bleiben wird, als im Schwerpunkt aller Gewichte befindlich; und diese Ruhe wird der vollkommenen Weiße entsprechen, deren Empfindung ihm durch den gleichzeitigen Eindruck aller Farbenabstufungen einfachen Lichts, bei einer Mischung nach Verhältnissen, wie sie sich von Natur im Spectrum befinden, erweckt wird. Gesetzt aber, die Mischung fände nicht nach diesen Verhältnissen statt, wie in allen Farbenmischungen, welche kein Weiß geben, so wird man auf jeden partiellen Schwerpunkt nicht mehr das Totalgewicht des entsprechenden Bogens gelegt zu denken haben, sondern die Hälfte, das Drittheil oder überhaupt den nten Theil dieses Gewichts, je nachdem die gegebene Mischung die Hälfte, das Drittheil, Viertheil oder überhaupt den nten Theil von alle dem Licht enthält, welches diese Farben im Spectrum ausmacht. Sucht man jetzt den gemeinschaftlichen Schwerpunkt aller dieser partiellen Gewichte, so wird er in der Regel nicht mehr mit dem Mittelpunkt des ganzen Kreises zusammenfallen. Fällt er indeß damit zusammen, so wird die Farbe der Mischung immer noch Weiß sein; nähert er sich dagegen sehr einem der partiellen Mittelpunkte, so wird in der Mischung die Farbe herrschen, welche diesem Mittelpunkt angehört. Nach welcher Seite er endlich auch fallen mag, z. B. nach S, immer wird man nur von dem Mittelpunct zu diesem Punkte die Linie CS zu ziehen haben; worauf die Richtung dieser Linie die herr-

Digitized by Google

schende Farbe der Mischung und ihre Länge oder die Entfernung des Punktes S von der Mitte die Lebhaftigkeit der Farbe angeben wird. Fällt z. B. CS genau zwischen CGr und CG, so wird die Farbe das reinste Gelb sein; nähert sich dagegen CS mehr CG oder CGr, so wird sich dieß Gelb mehr ins Orange oder Grün ziehen.

Fällt bei der ersten Voraussetzung der Punkt S nahe an den Umkreis, so wird die Farbe im höchsten Grade stark und lebhaft sein; fällt er aber mittelweges zwischen den Umkreis und den Mittelpunkt, so wird die Farbe nur halb so stark sein, gleich einer Mischung des lebhaften Gelb mit eben so viel Weiß. Drückt man im Allgemeinen den Abstand CS durch △ aus, während man den Halbmesser des Kreises gleich 1 setzt, so wird 1 — △ mit großer Annäherung den Verhältnißtheil Weiß ausdrücken, den man mit dem Verhältnißtheil △ der einfachen Farbe, nach welcher CS gerichtet ist, vermischen müßte, um die vorliegende Farbe dem Auge darzustellen. Die Beschaffenheit und Intensität derselben wird sich also auf diese Weise bestimmen lassen. Jedoch ist hierbei die Einschränkung nicht zu übersehen, daß, wenn der Punkt S auf die Linie CR oder ganz nahe daran fällt, die zusammengesetzte Farbe, deren Hauptelemente dann Roth und Violett sind, keiner der prismatischen Farben mehr entsprechen kann, sondern eine Purpurfarbe gibt, welche sich ins Roth oder Violett zieht, je nachdem der Punkt S von der Linie CR mehr nach der einen oder nach der andern dieser Farben hin zu liegen kommt; und in beiden Fällen wird die zusammengesetzte Purpur- oder violette Farbe mehr Feuer und Glanz, als die einfache, zeigen. Ueberhaupt bemerkt man die größte Analogie zwischen den Wirkungen des Violett und des Roth, welche so weit geht, daß sich z. B. aus Blau und Roth Gemische hervorbringen lassen, welche dem Auge den Eindruck eines schönen Violett (s. oben) gewähren, und wahrscheinlich ist es diese Rückkehr der Farbenreihe zu ihrem Anfange, ganz ähnlich der Wiederkehr, welche sich in der Consonanz der Octaven ausspricht, die Newton veranlaßte, die verschiedenen Eindrücke der Farben mit denen, welche wir durch die musicalischen Intervalle erhalten, zusammenzustellen, wie er öfters gethan.

Bei der Länge, die Newton's Regel den Bogen zuertheilt, welche die sieben Hauptfarben des Spectrums darstellen, gibt es nicht zwei, deren Schwerpunkte einander diametral entgegengesetzt liegen. In welchem Verhältniß also auch zwei dieser Farben gemischt werden mögen, nie wird ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt in den Mittelpunkt des Umkreises selbst fallen können, wonach sie nie Weiß werden geben können, sondern höchstens eine, dem Weiß sich sehr nähernde blasse Farbe.

Nach Grotthuß erhält man jedoch eine wenigstens für unser Auge vom Weiß nicht unterscheidbare Farbe, wenn man zwei Farbenbilder so auf einander bringt, daß Gelb und Violett, Orange und Blau, Roth und Seladongrün zusammenfallen. Um dieß zu erreichen, soll man zwei Farbenbilder so hervorbringen, daß bei beiden Violett den oberen Theil ausmacht. Trifft dann das Violett des etwas niedriger liegenden Bildes mit dem Gelb des höheren zusammen, so fällt zugleich sehr nahe das Gelb auf Orange, das Grün auf Roth, und bringt so ein

Digitized by Google

in der Mitte weißes, am einen Ende in Blau und Violett, am andern Ende in Orange und Roth übergehendes Bild hervor.

Da sich durch Mischung von Roth und Grün: Gelb und Orange, durch Mischung von Grün und Violett: Blau erhalten läßt, so nahm Wünsch nur die drei Farben: Roth, Grün und Violett als einfache Farben an. Auch aus der verschiedentlichen Mischung von Roth, Gelb und Blau lassen sich die übrigen Farben herstellen, und Brewster hat in neuester Zeit diese drei als Hauptfarben angegeben und die Entstehung der übrigen aus diesen im Spectrum abzuleiten gesucht. Brewster behauptet nämlich, daß diese drei Farben drei Spectra von gleicher Länge und alle drei genau auf dieselbe Stelle fallend bilden. Alle Farben des Sonnenspectrums müssen hiernach aus den Grundfarben: Roth, Gelb, Blau zusammengesetzt sein, welche in verschiedenen Verhältnissen gemischt sind. Jedes der drei einfarbigen übereinander liegenden Spectren soll nämlich nach Brewster die Eigenschaft haben, daß die Intensität des Lichtes von dem einen Ende bis zu einem gewissen Punkte zunimmt, wo sie ihren höchsten Grad erreicht hat, und dann bis zu dem andern Ende wieder abnimmt. Der Punkt der höchsten Intensität fällt bei jeder einzelnen Farbe auf verschiedene Stellen und die Zunahme vom Ende bis zu diesem Punkt ist nicht gleichförmig oder für jede Farbe gleichartig. Die Verbreitung jedes seiner drei einfachen Farbenbilder hat Brewster dadurch dargethan, daß er die Gegenwart einer jeden der drei genannten Farben in den sieben Farben des prismatischen Sonnenbildes nachwies. So sagt Brewster z. B. in Bezug auf das rothe Licht: Aus dem bloßen Anblick des Spectrums ist ersichtlich, daß in dem rothen, orangefarbenen und violetten Felde des Spectrums rothes Licht vorhanden ist. Untersucht man das blaue und indigofarbene Feld durch gewisse gelbe Flüssigkeiten, z. B. durch Olivenöl, so bekommen sie eine deutliche violette Farbe, woraus folgt, daß diese Flüssigkeiten gewisse Strahlen, die das Roth neutralisiren (unsichtbar machen) verschluckt haben. Rothes Licht ist also in dem blauen und indigfarbenem Felde vorhanden. Weiter zeigt Brewster, daß weißes Licht, welches doch nothwendig Roth enthält, sowohl aus dem grünen wie aus dem gelben Lichte abgeschieden werden kann. Hiernach wäre also in allen 7 Farbenfeldern des Sonnenspectrums rothes Licht vorhanden. — Brewster hat auf mathematische und experimentale Weise dargethan, daß auf jedem Punkte des Spectrums eine Portion farbloses Licht sich befinden müsse, dadurch entstanden, daß, bei der Erstreckung aller drei Spectra über dieselbe Oberfläche, so viel farbloses Licht entstehen muß, als aus der auf dieser Stelle befindlichen geringsten Menge farbigen Lichtes, mit richtig proportionirten Mengen der andern beiden, hervorgebracht werden kann, und daß dieses Licht, da es aus gefärbten Strahlen von vollkommen gleicher Brechbarkeit zusammengesetzt ist, nicht weiter in Farben gebrochen werden kann. Um dieses farblose Licht für sich aufzusammeln, ließ er das gemischte Licht durch durchsichtige Körper von verschiedener Farbe gehen, d. h. durch Körper, welche das Vermögen besitzen, Strahlen von gewissen Farben nicht hindurchzulassen, wozu er theils Glas, theils getrockneten durchsichtigen Leim, theils Oele oder

Digitized by Google

die wässrigen Lösungen gefärbter Stoffe nahm. Auf diese Weise erhielt Brewster das weiße Licht von seiner farbigen Beimischung befreit, und konnte auf diese Weise seine Unveränderlichkeit in allen denen Fällen nachweisen, wo das gewöhnliche farblose Licht in Farben gebrochen wird. Seine Annahme, es gebe nur die angeführten drei Grundfarben, aber diese über das ganze Sonnenspectrum ausgebreitet, bestätigt Brewster noch durch die nähere Erörterung der Erfahrung, daß einige Menschen für bestimmte Farbeneindrücke unempfänglich sind.

Kehren wir indeß zu der Newtonschen Eintheilung der Farben in sieben oder sechs Hauptfarben zurück, so ist wiederholt gesagt worden, daß, wenn man durch eine Linse eine Mischung aus allen Farbenstrahlen hervorbringt, diese vollkommenes Weiß geben. Vereinigt man aber auf diese Weise alle Farben mit Ausnahme des Blau, so erhält man Gelb oder Orange, je nachdem das Blau aus einem näher am Violett (Indigo) oder näher am Grün liegenden Theile des Farbenbildes genommen ist, und da auf diese Weise Blau das Gelb und das Orange zu Weiß ergänzt, so nennt man Blau die Ergänzungsfarbe oder (lat.) die Complementairfarbe des Orange und des Gelb. Auf gleiche Weise ist Roth die Ergänzungsfarbe des Grün, Violett die Ergänzungsfarbe des Gelb. *)

Bekanntlich setzen die Maler die einfachen Farben durch Vermischung verschiedenfarbiger pulveriger Substanzen zusammen. Alle diese Mischungen stehen jedoch den Lichtfarben des Sonnenspectrums bei weitem an Lebhaftigkeit nach, denn wenn auch die erleuchtete Seite jedes der feinen die Mengung bildenden kleinen Körperchens ganz rein die eigenthümliche Farbe darstellte, so würde doch durch die Schattenseite ein Dunkel oder Schwarz mit in die Mischung kommen und dadurch ihr Glanz vermindert werden. Auch die weiße Farbe läßt sich durch solche Mischungen nachahmen, immer aber ebenfalls nur unvollkommen. Die gefärbten Pulver nämlich, deren man hierzu sich bedient, verschlucken immer einen großen Theil des auf sie fallenden Lichtes, und selbst nur weil sie dieß thun, erscheinen sie farbig, nämlich mit derjenigen Farbe gefärbt, welche die verschluckte Farbe zum weißen Lichte ergänzt. Man erhält daher durch solche Mischungen, welche Weiß geben sollen, immer nur ein mehr oder weniger schmutziges Grauweiß, gleich einer Mischung aus rein weißem und schwarzem Pulver.

Die oben angegebene Newtonsche Eintheilung eines Kreises nach Analogie der Mischungsverhältnisse der verschiedenen Farben zu Weiß kann man zu einem Versuche benutzen, bei dem durch schnelle Folge der verschiedenen Farben auf einander dem Auge ebenfalls ein Weiß erscheint. Man theile nämlich einen Kreis, wie dort angegeben, in 7 Felder und trage auf diese einzeln möglichst schöne und reine (materielle) Farben auf, so also, daß 60¼ Grad mit Roth, 34¼ Gr. mit Orange, 54⅔ Gr. mit Gelb, 60¼ Gr. mit Grün, 54⅔ Gr. mit lichtem Blau, 34¼ Gr. mit Indigoblau, 60⅔ Gr. mit Violett gefärbt erscheinen.

*) Vergl. den Art. Anwandlungen und d. Folg.

Befestigt man die kreisförmige Scheibe hierauf an einen durch ihren Mittelpunkt gehenden Stift und setzt sie um denselben als um ihre Axe in eine schnelle drehende Bewegung, so folgen die verschiedenen Farben so schnell auf einander, daß sie das Auge nicht mehr von einander zu unterscheiden im Stande ist; vielmehr erscheinen sie demselben als Eine weißgraue Farbe, welche sich dem reinen Weiß um so mehr nähert, je mehr die einzelnen Farben rein und hell sind. Auf ähnliche Weise kann man auch je zwei oder drei verschiedene Farben allein auf die Scheibe tragen und wird dann bei der Umdrehung der Scheibe die den Verhältnissen nach denen sie aufgetragen sind entsprechenden Mischfarben erblicken. Ein hierzu brauchbares Instrument ist der Farbenkreisel. Derselbe ist ein gewöhnlicher Kreisel gleich dem bekannten Spielwerke der Kinder. Die runde Scheibe AB, Fig. 130., aus hartem Holze gedreht, ist auf die gleichfalls aus hartem Holze (am besten Buxbaum) verfertigte Spindel CD gesteckt, welche letztere bei EF einen unten flachen Wulst hat, um die mit den erforderlichen Pigmenten überzogenen Papierscheiben darunter zu befestigen. Wie diese Scheiben aus feinem, weißem und glattem, aber zugleich die Farben gut auffaugendem Papiere gemacht sein müssen, ergibt sich zwar von selbst, indeß versinnlicht die Zeichnung, Fig. 131., daß sie, in der Mitte mit einem Loche zum Durchstecken der Spindel versehen, entweder bloß auf dem äußeren Ringe oder auf den ganzen Sectoren diejenigen Farben haben müssen, womit man die Versuche anstellen will. Man kann ferner die einzelnen Sectoren auf die erforderliche Weise mit den gehörigen Pigmenten überziehen, und deren so viele, als zur Erzeugung der gewünschten zusammengesetzten Farben erforderlich sind, neben einander legen, durch den Wulst der Spindel an die Scheibe festdrücken und den Kreisel durch Drehung des Stieles in schnelle Rotation bringen. *)

*) In neuester Zeit hat Busolt in Berlin einen Farbenkreisel construirt, von anderer Einrichtung als der gewöhnliche, welcher sehr ergötzliche Farbenspiele gibt, und auch wegen der Art, wie seine Rotation, die länger als ½ Stunden währt, bewerkstelligt wird, eine Anführung verdient. Poggendorff gibt nachstehende Beschreibung desselben. Was zunächst den Kreisel betrifft, den man, nebst einem Theil der zu seiner Handhabung dienenden Vorrichtung, in Fig. 132. im Durchschnitt und in Viertel-Größe seiner wirklichen Dimensionen abgebildet sieht, so ist derselbe aus einer dicken Scheibe und einer durch deren Mitte gesteckten Axe zusammengesetzt. Die Scheibe besteht aus einer Legirung von Zink und Blei und wiegt für gewöhnlich fünf Pfund. Die konische Axe, von sehr trocknem und festem Holze verfertigt, ist stark in die Scheibe eingetrieben. Oben trägt sie einen Knopf und einen kleinen Ring, beide von Messing. Unten ist ein Stift aus nicht gehärtetem Stahl eingeschraubt, auf dessen fein abgerundeter Spitze der Kreisel rotirt. Zur Hervorbringung der Rotation dient eine hanfene Schnur, die auf die Holzaxe gewickelt und mit freier Hand abgezogen wird. Um diesen Abzug mit Sicherheit zu bewerkstelligen, wird der Kreisel, nach Umwickelung mit der Schnur, in die Vorrichtung, Fig. 133. oder 132., eingehängt, welche mit-

Digitized by Google

Lüdicke schlägt nach vielen von ihm angestellten Versuchen folgende Einrichtung der Farbenscheibe als passend vor. Man soll den

---

telst Einschnitte in die eisernen Arme d, d den oberen und den unteren metallischen Theil der Axe umschließt. Die eisernen Arme d, d befinden sich an einem hölzernen Hebel e, e, welcher sich um die Axe c zwischen den Backen b auf und nieder bewegt. Mittelst der Axe c ist der Hebel e e mit der Schraubenzwinge a verbunden, welche durch die Schraube s fest an einen Tisch t t geschraubt ist. Um den Kreisel in Rotation zu versetzen, befestigt man zunächst die Schraubenzwinge an dem Tisch, und zwar so, daß der horizontal ruhende Hebel einen schiefen Winkel mit der Tischkante bildet, schiebt, wie es 11 Fig. 132., im Durchschnitt zeigt, unter den Hebel einen Porcellanteller, hängt den mit der Schnur umwickelten Kreisel in die Arme d, d, stemmt nun die linke Hand gegen den Hebel und hält unmittelbar nach dem mit der rechten Hand vollführten Abzuge den Kreisel so lange vom Eisen ab, bis die letztere Hand den Teller unter den sich hebenden Hebel e e vorgeschoben hat. Um den Kreisel nicht zu beschädigen, muß man ihn vor dem Abzuge so nahe als möglich an den Rand des Tellers stellen. Diese, so wie die obige Vorsicht ist nicht nöthig, wenn man statt des Hebels e den f, Fig. 134., in die Schraubenzwinge einsetzt, die Schnur durch das Loch g nach unten zieht und die umwickelte Schnur von unten durchsteckt. Bei dieser Vorrichtung findet aber natürlich eine größere Reibung statt; auch ist das Umwickeln bei der ersten Vorrichtung viel bequemer. Um die Schnur, was wesentlich ist, so stark und rasch wie möglich abzuziehen, ist es gut, das freie Ende derselben in einer Handhabe zu befestigen. Eben so wird die Kraft vermehrt, wenn man über die erste Lage von Windungen noch eine zweite von drei bis vier Windungen wickelt. Die Schnur muß etwa einen halben Fuß kürzer sein als die ausgespannten Arme messen, damit man sie in einem Zuge und noch zuletzt mit Kraft von der Axe abziehen könne. Zweckmäßig ist eine dünne Peitschenschnur, weil sie da, wo die meiste Kraft erfordert wird, am dicksten ist. Wenn alles angegebenermaßen vorgerichtet ist und man die gehörige Uebung im Abziehen erlangt hat, macht der auf dem Teller in Rotation versetzte Kreisel, unbelastet, 60 Umdrehungen in der Secunde, und behält diese Bewegung 45 Minuten lang mit solcher Regelmäßigkeit, daß die Axe fast unbeweglich scheint. Ein Kreisel von etwas größerer Dimension, als zuvor angegeben wurde, erhielt sich gar eine ganze Stunde lang in Rotation. Hat die Scheibe aber mehr als 6 Pfund Gewicht, so entsteht leicht ein Mißverhältniß zwischen der Kraft des Arms und der zu überwindenden Last, weshalb dann der Abzug nicht mehr in einem Moment ausgeführt werden kann. Bufolt hat dieß namentlich bei einem 8pfündigen Kreisel bestätigt gefunden. Kleinere Kreisel, bis zu einem halben Pfunde schwer, sind übrigens, aus einem Handgriff gezogen, verhältnißmäßig schon sehr brauchbar zu vorliegendem Zweck. Um nun das Farbenspiel zu erzeugen, verschafft man sich eine Reihe dünner Pappscheiben, von verschiedener aber gleichförmiger Farbe, und eben so eine Anzahl verschieden gefärbter Flügel von der Gestalt k k, Fig. 133. Die Scheiben können zur vermehrten Mannigfaltigkeit auch wie in i mit einer

Digitized by Google

Ring der Scheibe in 12 Theile in folgender Weise theilen und mit nachstehenden Pigmenten überziehen: 1) Hellviolett oder röthlichviolett, dem dunkelrothen sich nähernd, nimmt 40,5 Grade des Kreises ein, und wird aus rothem Karmin mit ein wenig blauem Karmin gemischt. — 2) Violett; 38 Grade; aus blauem Karmin mit etwas rothem. — 3) Indigo; 36°; aus blauem Karmin mit sehr wenig rothem. — 4) Blau; 34°; blauer Karmin. — 5) Hellblau; 32°; aus blauem Karmin mit etwas Grün. — 6) Bläulichgrün; 30°,3; krystallisirter Grünspan, in Essig aufgelöst, mit etwas Weinstein. — 7) Gelblichgrün; 28°,6; vorige Aufl., mit etwas Gummigutt versetzt. — 8) Strohgelb; 27°; Gummigutt, sehr verdünnt, mit ein wenig Grün. — 9) Gelb; 25°,5; Gummigutt, stärker aufgetragen mit sehr wenig rothem Karmin. — 10) Orange; 24°; Gummigutt mit etwas rothem Kar-

---

Goldleiste beklebt sein und müssen, gleich den Flügeln, in der Mitte ein Loch haben, durch welches die Axe des Kegels so eben frei hindurchgeht. Nachdem der Kreisel auf dem Teller zur freien Rotation gebracht ist, läßt man zunächst eine der Scheiben und dann nach und nach einen oder mehrere der Flügel sanft über die Axe auf den Kreisel herabfallen. Die einfarbige Scheibe bildet den Grund des Phänomens, die Abstufungen der Farben werden durch die darauf gelegten Flügel hervorgebracht. Ist z. B. die Scheibe weiß und ein schwarzer Flügel auf dieselbe niedergelassen, so erhält man vom Umfange zum Mittelpunkt alle Nüanzen vom reinsten Weiß bis zum dunkeln Schwarz. Hat man mehre Flügel, z. B. rothe, blaue, gelbe auf die Scheibe herabgelassen und man will eine Veränderung der daraus entstandenen Farbenmischung bewirken, so berührt man die Flügel seitwärts mit einer Feder oder einem Stück Kautschuck (nicht mit einem Finger, weil man sich dabei, wegen der Schnelligkeit und Gewalt des Kreisels, leicht sehr unangenehm verletzen kann); dadurch verschieben sich die Flügel ein wenig und es entsteht plötzlich ein Wechsel im Colorit, von dessen Schönheit man sich ohne eigene Anschauung des Phänomens keinen richtigen Begriff machen kann. Besonders auffallend ist es, wenn sich dieß Phänomen pausenweis von selbst einstellt, was der Fall ist, wenn die Flügel, wegen zu großen Durchmessers ihrer Oeffnungen, ein wenig excentrisch schwingen. Ueberhaupt erscheint jede einzelne Farbe während der Rotation viel lebhafter und schöner als bei Ruhe, wovon man sich durch bloße Anwendung einer einfarbigen Scheibe leicht überzeugen kann. Sollen die Flügel sich nur mit der Schnelligkeit des Kreisels drehen, so schiebt man auf den unteren Theil der Axe eine Pergamentröhre, welche auch das schnelle Ausreiben der ledernen Ringe, mit denen, der größeren Dauerhaftigkeit wegen, die Oeffnungen der Scheiben und Flügel versehen sind, verhindert. Statt der Flügel kann man auch farbige Pappringe, wie mm, Fig. 136., nehmen; wenn deren Oeffnung in der Mitte einen größeren Durchmesser als die Axe des Kreisels hat, so rotiren sie excentrisch, was die Mannigfaltigkeit der Erscheinung erhöht. Auch Metallringe, z. B. Siegelringe und dergleichen Gegenstände, lassen sich, über den Knopf der Kreiselaxe gehängt, zur excentrischen Rotation bringen.

Digitized by Google

min. — 11) Hochroth; 22°,7; rother Karmin mit etwas Gummigutt. — 12) Dunkelroth; 21°,4; rother Karmin, nicht zu stark aufgetragen. Eine solche Scheibe gibt bei der Umdrehung weiß, andere Farbenverbindungen geben andere Mischfarben. — Alle Farben werden mit aufgelöstem, ganz weißen arabischen Gummi versetzt und mit einem etwas vollen Pinsel, zur Beförderung der Gleichheit, aufgetragen. — Uebrigens gründet sich die Eintheilung von Lüdicke, gleich der von Newton, auf die Analogie der Farben mit den Tönen, indem er nämlich die Breiten der Farben den Seitenlängen der Töne proportional genommen hat, welche die mittlern, nach gleichförmiger Temperatur gestimmten, Halbtöne einer Octave darstellen. *)

Um die Farbenscheibe in eine schnelle Drehung zu versetzen, gibt Brandes nach Lüdicke folgendes Instrument unter dem Namen Farbenspindel an. Die Farbenspindel besteht aus einem unten mit Tuch überzogenen Fußklotze ab (Fig. 137.) von etwa 4 Par. Zoll Durchmesser, und hieraus lassen sich die andern Dimensionen leicht entnehmen. Auf diesem Fuße sind die beiden metallenen Bügel c und d vermittelst Schrauben befestigt, welche oben einen messingenen, mit einer Mutterschraube versehenen Ring ef tragen, worin das Ocularrohr hoh von einer für die Gesichtsweite gehörigen Höhe geschraubt ist. Letzteres besteht aus einem einfachen inwendig geschwärzten Rohre, welches unten der Schraube wegen mit einer messingenen Schraube versehen ist, und auch oben bei o gleichfalls eine solche haben kann. Die untere Schraube dient dazu, die Glasscheibe a'a' auf dem unter ihr liegenden horizontalen Ringe festzuhalten. Diese ebene, möglichst weiße und durchsichtige Glasscheibe ist ganz mit schwarzer Tusche dick überzogen und hat nur einen durchsichtigen Ring, welchen man am besten erhält, wenn man sie mit starkgeschwärztem Papiere überklebt und bloß den durchsichtigen Ring von 1,5 bis 2 oder 2,5 Linien Breite unbedeckt läßt. Auf diesem Papiere läßt sich dann leicht mit etwas Kitt vermittelst dünnen Leders und venetianischen Terpentins das aus der Zeichnung kenntliche eiserne Scheibchen mit einer kleinen Vertiefung befestigen, in welcher das obere Ende der stählernen Spindel ss' mit der messingenen Scheibe nn läuft. Das untere Ende s' dieser Spindel ist etwas dicker, läuft in einer Vertiefung der metallenen Schraube g, welche von unten mit einem Schlüssel höher geschroben werden kann, um einen schlotternden Gang zu vermeiden, ohne zu stark gegen die Glasscheibe mm gepreßt zu werden und diese zu zersprengen. Endlich trägt die Scheibe

*) Lüdicke verfolgte diese Analogien noch weiter und fand, daß Dissonanzen, in Farben ausgedrückt, (indem er die den Tönen entsprechenden Farben mit ihrer verhältnißmäßigen Breite auf die Farbenscheibe auftrug) keine ähnliche unangenehme Empfindung wie dissonirende Töne verursachen; ferner, daß alle Accorde, sowohl die in Dur als in Moll, durch Farben ausgedrückt, sich dem reinen Weiß sehr nähern, so daß sich vermuthen läßt, wenn man wirklich mit ganz reinen Farben auf der Farbenscheibe operiren könnte, daß man in diesen Fällen wirkliches Weiß erhalten würde.

Digitized by Google

nn die mit den gehörigen Pigmenten gefärbten Scheiben von Papier, welche durch einen genau schließenden Ring rr festgehalten werden; der untere Theil der Spindel s' aber ist mit einem kleinen Stiftchen versehen, an welchem eine feine seidene Schnur festgehakt und mehremale um die Spindel geschlungen wird, so daß diese nebst ihrer Scheibe durch ein etwas starkes Anziehen der Schnur in eine unglaublich schnelle und wegen des größeren Gewichtes der Scheibe lange anhaltende Bewegung versetzt wird, während deren Dauer das Auge bei o die aus der Verbindung der verschiedenen Farben neu entstehende Farbe beobachten kann.

Man hat sich verschiedentlich bemüht, mit Farbenstoffen die Uebergänge der Farben in einander nachzuahmen. Das von Lichtenberg weiter ausgeführte Mayersche Farbendreieck oder Farbenpyramide ist ein solcher Versuch. Ein gleichseitiges Dreieck wird durch Parallellinien mit seinen Seiten in eine Anzahl kleinerer gleichseitiger Dreiecke zerlegt, wie Fig. 138. veranschaulicht. An die Ecken werden die drei Hauptfarben aufgetragen, und in die folgenden Dreiecke Mischungen der an den Ecken stehenden Farben, nach von jeder der reinen an den Ecken stehenden Farben abnehmenden Verhältnissen. Hiernach wären z. B. die in Fig. 138. numerirten Felder mit folgenden Farben bemalt.

Dreieck 1 mit reinem Roth
" 2 " 4 Theil Roth und 1 Theil Gelb
" 3 " 3 " Roth " 2 " Gelb
" 4 " 2 " Roth " 3 " Gelb
" 5 " 1 " Roth " 4 " Gelb
" 6 mit reinem Gelb
" 11 " 4 Theil Gelb und 1 Theil Blau
" 15 " 3 " Gelb " 2 " Blau
" 18 " 2 " Gelb " 3 " Blau
" 20 " 1 " Gelb " 4 " Blau
" 21 mit reinem Blau
" 19 " 4 Theil Blau und 1 Theil Roth
" 16 " 3 " Blau " 2 " Roth
" 12 " 2 " Blau " 3 " Roth
" 7 " 1 " Blau " 4 " Roth
" 8 mit 1 Theil Blau, 1 Theil Gelb und 3 Theil Roth
" 9 " 1 " Blau, 2 " Gelb " 2 " Roth
" 10 " 1 " Blau, 3 " Gelb " 1 " Roth
" 13 " 2 " Blau, 1 " Gelb " 2 " Roth
" 14 " 2 " Blau, 2 " Gelb " 1 " Roth
" 17 " 3 " Blau, 1 " Gelb " 1 " Roth

Um in diese Farbenordnung noch diejenigen Abstufungen zu bringen, welche durch Zumischung von Weiß entstehen, könnte man nach Lichtenberg das ganze Farbensystem in ein Prisma vertheilen, dessen Grundflächen gleichseitige Dreiecke sind, wo die Farben von der unteren Grundfläche bis zur oberen durch alle Stufen der Helligkeit vom Schwarz zum Weiß fortgehen könnten. Es ist klar, daß, wenn sich ein derartiges Farbendreieck mit Leichtigkeit herstellen ließe, man ein

Digitized by Google

sehr bequemes Mittel zur Bezeichnung der bei einer Angabe gemeinten Farbe haben würde. Man dürfte die zu beschreibende Farbe nämlich nur mit denen im Farbendreiecke vergleichen und angeben, welcher Farbe des Dreiecks sie gleichkäme. Zu Bezeichnung der Farben des Dreiecks schlägt Lichtenberg vor, z. B. für die Farbe des kleinen Dreiecks 19 = 4b + r, des Dreieckes 4 = 2r + 3g, des Dreiecks 17 = 3b + 1g + r u. s. w. wo, wie man sieht, r Roth, g Gelb und b Blau bedeutet. Die Mischung der Farbestoffe ist aber so großen Schwierigkeiten unterworfen, daß man den Wunsch aufgeben muß, in der angegebenen Weise den beabsichtigten Zweck zu erlangen. Am ehesten gelingt noch die Herstellung eines Farbendreiecks, wenn man sich nicht flüssiger, sondern gepulverter Farben bedient.

Lambert bediente sich zu Angabe der einzelnen Farbenabstufungen einer wachsähnlichen mit den Farben gemischten Substanz. Seine Farbenpyramide fängt unten mit einem Dreieck, dessen Seite 9, das Ganze also 45 Fächer enthält, an, und die Mischungen gehen hier mit Achteln fort. Das zweite Dreieck enthält 7 Fächer in jeder Seitenlinie und 28 Fächer im Ganzen; die Mischungen schreiten nach Sechsteln fort, aber zu jeden 6 Portionen werden 2 Portionen Weiß gemischt, so daß die Farben alle heller sind. Das dritte Dreieck hat 5 Fächer auf jeder Seitenlinie, und die Eckfächer enthalten nun 4 Portionen Blau oder Roth oder Gelb mit 4 Portionen Weiß gemischt, und eben so haben die vermischten Farben nur 4 Portionen der ihnen zukommenden Farben und 4 Portionen Weiß. Das vierte Dreieck hat 4 Fächer an jeder Seite und die Farbenmischungen schreiten nach Dritteln fort, aber zu 3 Portionen Farbe kommen 5 Portionen Weiß. Das fünfte Dreieck besteht nur noch aus 6 Fächern, die zu 6 Portionen Weiß entweder 2 Portionen Blau oder Roth oder Gelb, oder auch von je zweien derselben eine Portion enthalten. Das sechste Dreieck enthält nur 3 Farben, die aus 1 Roth mit 7 Weiß, 1 Blau mit 7 Weiß und 1 Gelb mit 7 Weiß bestehen. Endlich folgt noch die letzte Schicht mit 1 Fach ganz Weiß.

Die Uebergäng der einzelnen Farben aus dem tiefsten Dunkel bis zur größten Helle, so wie einer Farbe in die andere, stellt auf eine besonders übersichtliche Weise Runge's Farbenkugel dar. Man denke sich auf die Oberfläche einer Kugel einen größten Kreis gezeichnet, auf welchem in drei um 120° von einander entfernten Punkten reines Roth, Blau, Gelb aufgetragen wird. Läßt man nun von diesen Punkten aus auf demselben größten Kreise Uebergänge der Farben in einander, nach regelmäßig zunehmender Beimischung der benachbarten Farbe, statt finden, so kommt 60° vom Blau und Gelb dasjenige Grün vor, welches sich weder dem Blau noch dem Gelb zu sehr nähert, von da an aber der Uebergang in Gelb auf der einen, in Blau auf der anderen Seite; eben so ist es mit Orange und Violett. Setzt man nun in den einen Pol dieses größten Kreises reines Weiß und in den andern reines Schwarz, so wird man in der Richtung der Meridiane, welche durch diese Pole und jenen größten Kreis gezogen werden können, alle Schattirungen der Farben bis zu ihrem Uebergange in Weiß und

Digitized by Google

Schwarz auftragen können. Solchergestalt werden auf jedem Parallelkreise immer dieselben Farben vorhanden sein, aber um so heller, je näher sie dem weißen, um so dunkler, je näher sie dem schwarzen Pole liegen. Durch diese Construction wird, wie leicht erhellt, zugleich sehr gut ausgedrückt, daß die verschiedenartigen Farben einander um so näher kommen, je heller oder je dunkler sie werden, d. h. je mehr der Antheil beigemischten weißen Lichtes zunimmt, oder je mehr alle Farbenstrahlen mangeln.

Field hat ein hierher gehöriges Instrument unter dem Namen Chromometer (griech., Farbenmesser) angegeben, welches für die Annahme nur dreier Grundfarben zu sprechen scheint. Dasselbe besteht aus drei hohlen keilartigen, mit Glaswänden versehenen Gefäßen, die so gefaßt sind, daß man einen Lichtstrahl nach Belieben durch alle drei oder durch eines oder das andere derselben leiten kann. Jedes derselben enthält einen Stoff, dessen Farbe eine Hauptfarbe ist, und zwar das eine rothe Krapptinctur, das andere blaue schwefelsaure Kupferlösung und das dritte gelbe eine chromsaure Kalklösung oder Safrantinktur. Diese Flüssigkeiten haben einen solchen Farbenton, daß ein mitten durch alle drei Gefäße gehender Strahl, auf weißem Papier aufgefangen, weiß erscheint. Nimmt man das Gefäß mit der rothen Flüssigkeit hinweg, so erscheint dieser Strahl grün, hingegen purpurroth oder orange, wenn man das Gefäß mit der gelben oder blauen Flüssigkeit wegnimmt. Wendet man die Gefäße gegen den einfallenden Strahl, so daß derselbe durch dickere Schichten der Flüssigkeit gehen muß, so erleidet die Farbe des durchgelassenen Lichtes eine Modification und wenn man die Stellung, wo der Strahl mitten durch ein solches Prisma geht, als Nullpunkt der Farbenscale ansieht, so kann man leicht durch verschiedene Neigungen der Prismen Grade der sich hierbei ändernden Farben festsetzen. *)

Nobili, der in neuester Zeit die Kunst entdeckt hat, auf galvanischem Wege Metallplatten zu färben, und zwar so, daß die Metallplatten eine über ihre ganze Oberfläche gleichförmig sich erstreckende Farbe erhalten, auch es in seiner Gewalt hat, diese Farbe beliebig abzustufen, hat hiervon eine Anwendung zur Construction einer Farbenscale gemacht. Diese Färbungen beruhen nur auf der Bildung dünner Ueberzüge, von deren Dicke die Farben in derselben Abhängigkeit stehen, wie bei den Newtonschen Farbenringen (s. d. Art.). Nobili's Scale besteht aus 44 Farbentinten, deren jede auf einer Stahlplatte angebracht ist. Da indeß (soviel mir bekannt) Nobili das von ihm bei Hervorbringung der gleichförmigen Farben beobachtete Verfahren noch nicht bekannt gemacht hat, so wird es genügen, auf seine Farbenscale im Allgemeinen aufmerksam gemacht zu haben.

Die Farbenerscheinungen der Anwandlungen, der Beugung sind in eigenen Artikeln abgehandelt. Die ersteren treten dann auf, wenn von einer dünnen Schicht eines durchsichtigen Körpers einige Far-

*) Ueber van Beek's Farbenmesser s. d. Art. Licht, polarisirtes.

Digitized by Google

benſtrahlen zurückgeworfen werden, während die andern hindurchgehen. Unter Beugung verſteht man die Farbenerſcheinungen, welche an den Grenzen von Körpern, an denen das Licht vorbeigeht, oder an engen Oeffnungen, durch die es hindurchgeht, auftreten.

Die verſchiedenen Farben der in der Natur vorkommenden Körper ſcheinen auf den erſten Anblick mit dem Lichte nichts gemein zu haben, vielmehr eine den Körpern ſelbſt eigenthümliche Eigenſchaft zu ſein, welche nur erſt bei der Beleuchtung wahrnehmbar wird. Indeß ſieht man bald ein, daß ohne das Licht die Farben der Körper durchaus nichts ſind, denn es gibt nicht irgend eine Art, die Farben der Körper, da wo das Licht fehlt (im Finſtern) wahrzunehmen; erſt mit der Beleuchtung erhalten die Körper Farbe. Daß es ſich ſo in der That verhalte, dafür ſpricht am lauteſten der Umſtand, 1) daß im gewöhnlichen Sonnenlichte ungefärbte, d. h. weiße Körper farbig erſcheinen, ſobald das in Farbenſtrahlen zerlegte Sonnenlicht (durch das Prisma) auf ſie fällt; 2) daß die Körper, welche im (weißen) Sonnenlichte gefärbt erſcheinen, ihre Farbe ändern, ſobald man ſie mit einem nicht wie das Sonnenlicht alle Farben in ſich zu weiß vereinigenden, ſondern gefärbten Lichte beleuchtet.

Die Farbe, welche ein Körper im Sonnenlichte zeigt, nennen wir ſeine *eigenthümliche* oder *natürliche* Farbe. Es iſt aber eine bekannte Thatſache, daß Gegenſtände, welche bei Tage (bei Sonnenlicht) uns z. B. blau erſcheinen, des Abends bei Kerzenſchein grün u. ſ. f. geſehen werden. Der Grund iſt der größere Antheil gelben Lichtes, welches die Kerzenflamme verbreitet. Um die Entſtehung der eigenthümlichen Farben der Körper zu erklären, ſagt man, daß der in einer beſtimmten Farbe im Sonnenlicht erſcheinende Körper die Eigenſchaft habe, von dem auf ihn fallenden weißen Lichte gewiſſe Farbenſtrahlen zu abſorbiren oder zu verſchlucken, die übrigen aber, die zuſammen eine beſtimmte Miſchfarbe geben (nur ſelten iſt eine der einfachen Farben allein die zurückgeworfene), welche die ihm natürliche iſt, zurückzuwerfen. Genauer erklärt ſich *Brewſter*, welcher, wie oben geſagt wurde, annimmt, daß das weiße Licht aus den drei Grundfarben: Roth, Gelb und Blau beſtehe. Aus dieſen drei Farben, ſagt er, in dem Verhältniſſe, in welchem ſie im Sonnenlichte vorkommen, gemiſcht, wird ein reines weißes Licht erhalten. Wenn jedoch ein Körper, auf welchen dieſes weiße Licht fällt, von dieſen drei einfachen Farben eine oder mehrere verſchluckt, oder ihren Fortgang verhindert, oder in ihrer Subſtanz zurückhält, ſo wird er von der Farbe erſcheinen, welche aus den Strahlen beſteht, die nicht abſorbirt wurden, oder von der Farbe, welche das weiße Licht haben würde, wenn ihm die Farben, welche abſorbirt wurden, entzogen würden. Scharlachrothes Tuch z. B. abſorbirt die meiſten blauen Strahlen und mehre der gelben, daher erſcheint es *roth*. Gelbes Tuch abſorbirt die meiſten blauen und mehrere der rothen Strahlen, und erſcheint darum gelb, und blaues Tuch abſorbirt die meiſten gelben und rothen Strahlen. Würde *ſcharlachrothes Tuch* mit reinem unvermiſchten *gelben Lichte* erleuchtet, ſo würde es *gelb* erſcheinen, weil das ſcharlachrothe Tuch nicht alle gelbe Strahlen ab-

Digitized by Google

sorbirt, sondern einen Theil derselben zurückwirft. Wird blaues Tuch durch gelbe Strahlen erleuchtet, so wird es beinahe schwarz erscheinen, denn es absorbirt fast alles gelbe Licht und strahlt beinahe keines zurück. Welches aber auch die Natur und Farbe der Körper, auf welche das gelbe Licht fällt, sein mag, so muß doch das zurückgeworfene Licht gelb sein, denn es fällt kein anderes Licht auf den Körper; diejenigen, welche nicht fähig sind, gelbes Licht zurückzuwerfen, müssen, so glänzend auch immer ihre Farbe bei Tageslicht sein mag, völlig schwarz erscheinen.

Um ein gelbes Licht zu erzeugen, hat man nur nöthig, den baumwollenen Docht einer Weingeistlampe mit gewöhnlichem Küchensalze stark einzureiben, und nach Aufgießung des Weingeistes anzuzünden. Daß dieses Licht in der That fast gar keine anderen Farben als gelbe enthält, davon kann man sich überzeugen, wenn man die Flamme durch ein Prisma betrachtet, es erscheint alsdann an derselben weder Roth, noch Blau, noch Grün, sondern neben der rein gelben Flamme nur ein sehr mattes violettes Bild.

Noch reiner gelb und dabei stärker ist dasjenige gelbe Licht, welches man in Befolgung eines von Brewster angegebenen Verfahrens erhält. AB (Fig. 139.) ist eine Lampe, welche in A eine hinreichende Menge Brennspiritus enthält, der nach und nach in eine Schale aus Platin oder sonst einem Metalle, D, ausfließt. Diese Schale wird, vermittelst einer Weingeistlampe L, welche in ein dunkeles Behältniß eingeschlossen ist, erhitzt. Wird der in die Schale D fließende Spiritus entzündet, so wird er mit einer stark gefärbten, lebhaften gelben Flamme brennen. Im Fall die Flamme nicht vollkommen gelb wäre, was von einem Uebermaß von Alkohol herrühren kann, so wird ein Zusatz von Kochsalz zu der Flüssigkeit in der Schale eben so gut, wie eine fernere Verdünnung des Alkohols mit Wasser der Absicht entsprechen.

Eine mit einfarbigem gelben Lichte brennende Lampe von großer Wirksamkeit wird ebenfalls erhalten, wenn man eine tragbare Lampe, welche comprimirtes Oelgas enthält, anwendet. Läßt man das Gas in einem reichlichen Strome ausströmen, und entzündet diesen, so wird dadurch mit der atmosphärischen Luft eine explodirende Mischung gebildet werden, die Flamme wird nicht mehr weiß sein, sondern ein bläulich und röthliches Licht verbreiten.

Die Gewalt, mit welcher das Gas ausströmt, oder irgend ein zufälliger Luftzug vermögen die Flamme auszublasen, so daß man an eine Vorrichtung, sie zu unterhalten, denken muß. Fig. 140. zeigt die Einrichtung, deren sich Brewster für diesen Zweck bedient. Eine kleine Glasröhre abc, welche von dem Hauptbrenner MN der Gaslampe PQ aufsteigt, endigt sich über dem Brenner. An ihr befindet sich eine kurze, luftdicht sich in ihr auf und nieder bewegende Röhre de. Diese bei e verschlossene Röhre de steht mit dem hohlen Ringe fg in Verbindung, dessen innere Fläche von vier Oeffnungen so durchbohrt wird, daß sie ihre Gasströme bis zur Spitze eines Kegels, von welchem fg die Grundfläche ist, emportreiben. Läßt man, durch Oeffnung des Haupthahnes A, das Gas aus dem Brenner M ausfließen, so wird es

Digitized by Google

in die Röhre abcd treten und in kleinen Flammen aus den vier Oeffnungen im Ringe fg hervorbrechen. Die Größe dieser Flammen läßt sich durch den Hahn b bestimmen. Die Entzündung des erhitzten Gases wird demnach durch diese vier Hülfsflammen, durch welche es hindurchgeht, unabhängig von irgend einer Bewegung der Luft, oder der Gewalt, mit welcher es aus dem Brenner ausströmt, ununterbrochen unterhalten werden. An dem hervorspringenden Arme ch, welcher einen Ring h trägt, befestigte Brewster ein breites rundes Band aus groben baumwollenen Dochten, die vorher mit einer gesättigten Kochsalzauflösung getränkt worden. Läßt man das Gas bei M mit solcher Gewalt ausströmen, daß eine hohe und breite Gassäule, bestehend aus einer explodirenden Mischung von Gas und atmosphärischer Luft, gebildet wird, so wird die durch die Explosion erzeugte blaue Flamme, welche durch den Ring, in welchem die kreisförmige, mit Salz getränkte Binde befestigt ist, hindurchgeht, in eine Masse gleichförmiges gelbes Licht verwandelt werden. Diese Binde thut, ohne daß das Kochsalz erneuert zu werden braucht, ihre Dienste, so daß die Gaslampe ununterbrochen eine einfarbige gelbe Flamme geben wird, welche so lange anhält, als sich Gas in dem Brenner befindet. Statt des kreisförmigen Bandes aus baumwollenen Dochten kann man einen hohlen Cylinder aus Schwamm, mit zahlreichen hervorspringenden Büscheln, anwenden, oder man kann sich eines ähnlichen Bandes aus Leinwand von Asbest bedienen, oder eine salzige Auflösung, vermittelst einer mit haarförmigen Oeffnungen versehenen Fontäne, zuleiten. Erleuchtet man mit einer solchen gelbes Licht gebenden Flamme ein Zimmer, so zeigen, sagt Brewster, alle Möbel des Zimmers, alle Gegenstände, welche es enthält, nur Eine Farbe. Blumen verlieren ihr Colorit. Gemälde und Zeichnungen haben das Ansehen, als wenn sie mit Tusch gemacht wären. Die buntesten Kleider, das glänzendste Scharlach, das reinste Lilla, das reichste Blau, das lebhafteste Grün sind in ein eintöniges Gelb verwandelt. Die Gesichtsfarbe wird ebenfalls eine entsprechende Veränderung erfahren, ein leichenartiges Ansehen annehmen.

Ein Körper, welcher alle Farben des weißen Lichtes verschluckte und nur eine, z. B. die rothe Farbe, zurückwürfe, müßte in jedem anderen als dem rothen, z. B. im blauen Lichte des Prisma's völlig dunkel erscheinen, auch durch das Prisma betrachtet in seiner ihm eigenthümlichen Farbe erscheinen; die meisten Körper aber werfen, wie schon oben erinnert, bloß eine Art von Farbenstrahlen zurück. Von den durchsichtigen und durchleuchtenden Körpern werden wir auf ähnliche Weise sagen, daß sie einen (farbigen) Antheil des auf sie fallenden weißen Lichtes absorbiren oder verschlucken, einen anderen dagegen durchlassen. Weder gibt es einen Körper, welcher alles auf ihn fallende Licht zurückwirft, noch einen, welcher alles auf ihn fallende Licht durch sich hindurchläßt, sondern alle Körper absorbiren mehr oder weniger das auf sie fallende Licht. Kein Körper ist daher vollkommen weiß, dieß wär er nur dann, wenn er alles auf ihn fallende (weiße) Sonnenlicht ohne irgend welche Verschluckung zurückwürfe, noch vollkommen durchsichtig. Ein vollkommen schwarzer Körper ist der, welcher gar kein

Digitized by Google

Licht zurückwirft, ſondern alles auf ihn fallende Licht in ſich aufnimmt, ein vollkommen undurchſichtiger, welcher alles auf ihn fallende Licht entweder zurückwirft oder abſorbirt.

Was aus dem abſorbirten Lichte werde, iſt eine Frage, deren Beantwortung in den Art. Licht gehört, doch kann ſchon hier bemerkt werden, daß wir dieß nicht wiſſen, ſo wenig wie wir wiſſen, was eigentlich aus der ſogenannten latenten Wärme werde. Beobachtungen haben gelehrt, daß die Körper durch die Abſorption des Lichtes wärmer werden. Es iſt bekannt, daß ſchwarze Körper, welche nach dem vorhergehenden alles auf ſie fallende Licht abſorbiren, am meiſten im Lichte erwärmt werden, daß z. B. ſchwarze Kleidungsſtücke im Sommer die unerträglichſten ſind. Was aber die einzelnen Farben betrifft, ſo ſcheinen ſie ungleich erwärmend bei der Abſorption zu wirken. Franklin ſtellte in dieſer Beziehung Verſuche an, indem er das Schmelzen des Schnees unter daraufgelegten ungleichfarbigen Körpern beobachtete. Leslie überzog die Kugeln von Thermometern mit verſchiedenfarbigen Ueberzügen und beobachtete das ungleiche Steigen derſelben. Ferner ließ Leslie das von farbigen Flächen reflectirte Licht oder vielmehr die reflectirte Wärme auf Thermometer mit geſchwärzten Kugeln fallen, und fand, daß rothe Flächen faſt eben ſo viel Licht als weiße zurückwerfen, blaue Flächen dagegen warfen am wenigſten Licht zurück.

Allerdings müſſen wir nun annehmen, um die Verſchiedenartigkeit der natürlichen Farbe der verſchiedenen Körper zu erklären, daß jedem Körper irgend eine beſtimmte Eigenthümlichkeit in ſeiner eigenen Conſtruction zukommen müſſe, der gemäß er beſtimmt werde, gewiſſe Farbenſtrahlen des auf ihn fallenden Lichtes zurückzuwerfen, durchzulaſſen oder zu abſorbiren. Welches dieſe Eigenthümlichkeit ſei, iſt ſchwer zu beſtimmen, nur ſprechen allerdings mehre Thatſachen dafür, daß ſie in der inneren Conſtruction des Körpers zu ſuchen ſei. Nehmen wir an, daß jeder Körper aus einer Anzahl kleiner Theilchen, Elementartheilchen, beſtehe, die in einzelne Syſteme zuſammengehäuft, unter einander aber durch engere oder weitere Zwiſchenräume getrennt ſind (welche Conſtruction wegen der Kleinheit der Theilchen aber nicht ſichtbar iſt), ſo wird die verſchiedene Anordnung dieſer Theilchen als Grund der Eigenthümlichkeit der Körper in Bezug auf ihre Färbung angegeben werden können. Newton und ſeine Anhänger gehen ſo bei Erklärung der natürlichen Farben der Körper auf die Elementartheilchen derſelben zurück und beziehen ſich hierbei auf die Theorie der Anwandlungen, vergl. d. Art. In der That ſcheint aber durch dieſe Zurückführung wenig erklärt zu ſein, nur ſoviel geht aus Verſuchen hervor, daß ein Körper durch die Aenderung ſeiner inneren Conſtruction, ohne daß ſonſt eine Veränderung mit ihm vorgeht, zu einer Veränderung ſeiner Farbe beſtimmt wird. Thenard z. B. fand, daß Phosphor, den er, um ihn möglichſt rein zu erhalten, ſieben bis achtmal deſtillirt hatte, in warmem Waſſer geſchmolzen, durchſichtig und gelblich weiß wurde, wie man ihn gewöhnlich erhält, daß er bei langſamer Erkaltung mit Beibehaltung dieſer Farbe erſtarrte, und halb undurchſichtig blieb, daß er aber im geſchmolzenen Zuſtande in kaltes Waſſer geworfen, und, um

Digitized by Google

ihn recht schnell zu erkälten, mit einem Glasstäbchen umgerührt, plötzlich undurchsichtig und völlig schwarz wurde. In seiner Beschaffenheit war hierbei durchaus keine Veränderung vorgegangen; denn ließ man ihn abermals schmelzen, so nahm er seine Farbe und Durchsichtigkeit wieder an und behielt sie nach dem Festwerden, wenn man ihn langsam erkalten ließ, so daß sich das nämliche Stück Phosphor nach Belieben successiv gelb und schwarz, durchsichtig und undurchsichtig machen ließ. Biot bemerkt: diese Beobachtung zeigt auf das klarste, daß Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit, Färbung oder Farblosigkeit nur Modificationen sind, welche auf der Anordnung und den Dimensionen der materiellen Gruppen, aus denen die Körper bestehen, beruhen. Als Clement und Biot diesen Versuch mit einer gewissen Quantität dieses Phosphors, den sie von Thénard erhalten hatten, wiederholten, zeigte sich ihnen eine Erscheinung, welche diesen Uebergang aus einem Zustand in den andern noch auffallender macht. Nachdem sie den geschmolzenen Phosphor in kaltes Wasser geworfen hatten, blieb eine gewisse Anzahl Kügelchen, etwa zehn oder zwölf, nach verschiedenen Seiten zerstreut, ohne ihre Flüssigkeit und Durchsichtigkeit zu verlieren; wie es scheint, weil entweder wegen der geringen Kälte des Wassers oder wegen irgend einer anderen Ursache ihre Theilchen sich allmählig wie vermöge eines langsamen Erkaltens anordneten. Berührte man aber eins derselben nur mit dem Ende eines Glasstäbchens, so bewirkte diese leichte Bewegung, oder vielleicht auch der bloße Erfolg der Anziehung der festen Materie des Glases, sogleich das Festwerden des Kügelchens, welches zugleich ganz schwarz ward.

Im Allgemeinen kann man nun auch die Farbenwechsel, welche bei Eingehung chemischer Verbindungen vorkommen, daraus erklären, daß die Elementartheilchen der Mischung anders geordnet sind, als die der Bestandtheile. Sehr häufig stehen die Farben der Mischungen in gar keiner Beziehung zu denen der Bestandtheile. Dieß ist namentlich der Fall bei den gefärbten Niederschlägen, welche man durch Vermischung von Metallauflösungen mit Schwefelleberlösung, Blutlauge oder Galläpfeltinctur erhält, wohin u. a. die Erzeugung des Berlinerblau aus Blutlauge und Eisenauflösung und die Bereitung der Dinte aus Galläpfeltinctur und Eisenauflösung gehören. Wenn man die (weiße) Arsenikſäure mit (weißer) Zuckerauflösung mischt, so erhält man eine Mischung von rother Farbe, wie Himbeersyrup, u. s. w. Die Lehre von den Reagentien beruht zum Theil auf ähnlichen Erscheinungen von Farbenwechseln. Als besonders merkwürdig kann auch an die lebhaften Farben der Oxyde (Verbindungen mit Sauerstoff) erinnert werden (das rothe und gelbe Quecksilberoxyd, die Mennige — rothes Bleioxyd — u. s. w.). Ueber die irisirenden Farben einiger Körper, z. B. der Perlmutter, s. d. Art. Beugung.

Lambert hat Beobachtungen angestellt, um zu bestimmen, wie sich farbige Körper hinsichtlich der Intensität des von ihnen zurückgeworfenen Lichtes zu einander verhalten. Am leichtesten ist es, die Röthe und Violette rother und violetter Körper mit der Weiße eines Blattes Papier zu vergleichen, d. h. zu untersuchen ob ein rother Körper

Digitized by Google

z. B. Siegellack verhältnißmäßig eben so viel rothes Licht zurückwerfe, als ein weißes Papier Licht von allen Farben. Lambert legte zu dem Ende Siegellack auf weißes Papier, so daß beide vom hellen Sonnenlichte gleich beleuchtet wurden; sah darauf das Papier durch ein Prisma an, und verglich das so sich zeigende Roth mit einander, nämlich das mit bloßen Augen gesehene Roth des Siegellacks mit dem durch das Prisma gesehene Roth des Papiers. Immer wird sich unter verschiedenen hell weißen oder mehr grauen Papieren eines finden lassen, das durch das Prisma beleuchtet so viel Roth zurückwirft, als Siegellack. Bei dem im Innern des prismatischen Sonnenbildes sich zeigenden Farben wird sich ein derartiger Vergleich schwieriger anstellen lassen; Lambert gibt daher in Bezug auf diese Farben ein anderes Verfahren an, indeß sind die Resultate dieser Versuche wegen der Leichtigkeit der möglichen Täuschung niemals sehr genau.

Bei den durchsichtigen Körper findet in Bezug auf das zurückgeworfene und durchgelassene Licht eine auffallende Verschiedenheit statt. Bei einigen Körpern, z. B. gelbem Glase, ist das durchgelassene Licht noch von derselben Farbe wie das zurückgeworfene. Wie die undurchsichtigen Körper das Licht aller Farben, welches in sie eindringt, absorbiren, so müssen wir sagen, absorbiren diese Körper alle Farben bis auf die eine, welche ihre kleinen Elementartheilchen nach allen Seiten hin zurückstrahlen, zum Theil also zurückwerfen, zum Theil hindurchlassen. Andere Körper absorbiren zwar auch mehr oder weniger die in sie einfallenden Lichtstrahlen, aber sie haben dabei die merkwürdige Eigenschaft, gewisse Farbenstrahlen zurückzuwerfen und andere durchzulassen; wenn man also durch sie hindurch sieht, erblickt man eine andere Farbe, als wenn man in der Richtung des auf sie fallenden Lichtes auf sie hinblickt. Zu den zuletzt erwähnten Körpern gehört unter andern das weiße Knochenglas. Dieses läßt nur die tief rothen Strahlen durch sich hindurch, wirft dagegen fast alles übrige Licht zurück, das zurückgeworfene Licht sieht darum weiß aus, aber mit einem Uebergange in's Blaue, weil die (durchgegangenen) rothen Farben fehlen. Weiße Körper, d. h. solche, die alle, also auch rothe Farbenstrahlen zurückwerfen, erscheinen, indem nur dieses ihr rothes Licht durchgelassen wird, durch Knochenglas betrachtet roth; blaue und grüne Körper dagegen (welche kein oder sehr wenig rothes Licht zurückwerfen) erscheinen durch Knochenglas beinahe schwarz, weil ihr blaues und grünes Licht nur höchst unvollkommen durchgelassen wird. Eine dünne Schicht Milch zeigt ähnliche Erscheinungen wie Knochenglas. Besonders auffallend verhält sich in dieser Beziehung Wasser, welches man einige Zeit auf Stücken von der Rinde des wilden Kastanienbaumes ausgezogen hat. Dasselbe sieht schmutzig gelbbraun aus, wenn man es so gegen das Licht hält, daß die Strahlen hindurchgehen; wenn man dagegen das Licht auf die Oberfläche so fallen läßt, daß man nicht den Spiegelglanz des Sonnenbildes erhält, sondern die Oberfläche ganz als erleuchtet, als durch zerstreute Lichtstrahlen sich hell zeigend, sieht, so erscheint diese blau oder violettlichblau, woraus man sieht, daß die am meisten brechbaren Strahlen hier zurückgeworfen, die am meisten brechbaren aber großentheils durchgelassen werden.

Digitized by Google

In allen denen Fällen, wo eine bestimmte Farbe ganz durchgelassen, die anderen Farben dagegen zurückgeworfen werden, wird das durchgelassene Licht die Ergänzungsfarbe des zurückgeworfenen sein müssen, doch werden immer auch einige Strahlen derselben Farbe durchgelassen, andere zurückgeworfen.

Es gibt einige Körper, welche zwei weit von einander entfernte Farbenstrahlen durchlassen, dieselben müssen daher eine verschiedene Farbe zeigen, je nachdem die Schicht derselben dicker oder dünner ist. Herschel hat beobachtet, daß eine dünne Auflösung einer Schicht Saftgrün grün, eine dicke dagegen dunkelroth gegen das Licht gehalten erscheint, der Grund ist, daß dieser Körper eine geringe Menge grünes und fast alles dunkelrothe Licht durchläßt, das erste erscheint im ersten, das andere im zweiten der angeführten Fälle. Denn da im Sonnenlichte nur wenige dunkelrothe, dagegen viele grüne Strahlen sind, so werden die, wenn auch nur theilweise durchgelassenen grünen Strahlen, bei einer dünnen Schicht dennoch vorherrschen; bei einer dicken Schicht wird die Schwächung des durchgehenden grünen Lichtes stärker und so kommt es, daß das Roth vorherrscht, denn obschon der rothen Strahlen an sich weniger waren, so gehen diese doch fast gänzlich ungeschwächt hindurch. Brandes weist dieß leicht verständlich in Zahlen nach. Wären, sagt er, 10 grüne Strahlen gegen 1 rothen im Sonnenlichte, von jenen aber würden bei 1 Linie Dicke nur die Hälfte, bei 2 Linien Dicke nur $\frac{1}{4}$, bei 3 Linien Dicke nur $\frac{1}{8}$, bei 4 Linien Dicke nur $\frac{1}{16}$, bei 5 Linien Dicke nur $\frac{1}{32}$ durchgelassen, so wären $\frac{10}{32}$ bei 5 Linien Dicke der Ausdruck für die 10 Strahlen grünen Lichtes; das rothe, wenn es ganz ungeschwächt durchginge, bliebe dagegen immer $= 1$, also wäre hier (bei 5 Linien Dicke) schon überwiegend.

Eine neuere Erfahrung Brewster's schließt sich hieran an. Die Lösung des schwefelsauren Chromoxydkali's in Wasser erscheint nämlich bei Tageslicht grün, bei Kerzenlicht röthlich. Die Ursache hiervon wird nach Talbot klar, wenn man ein hohles Prisma, dessen brechender Winkel 5° bis 10° beträgt, mit dieser Lösung füllt und durch dasselbe nach einer Kerzenflamme sieht. Man erblickt zwei Bilder von der Flamme, ein grünes und ein rothes; der ganze übrige Theil des Spectrums ist absorbirt. Betrachtet man die Lösung, wie gewöhnlich eingeschlossen in eine Flasche, so decken sich beide Bilder, und wenn nun das grüne im Tageslicht und das rothe bei Kerzenlicht das stärkere ist,*) so erklärt sich dadurch die Verschiedenheit der Farbe in beiden Beleuchtungen.

Auf die Betrachtung der ungleichen Färbung des durchgelassenen und des zurückgeworfenen Lichtes lassen sich die Farbe des Himmels, das Blau desselben am Tage, das Roth der Abendröthe beziehen. Brandes gibt folgende populäre Erklärung hierüber.

*) Indem im Sonnenlichte das grüne Licht von dem rothen, im Kerzenlicht dieses vor jenem vorherrscht.

Digitized by Google

Unsre Atmosphäre ist aus Luft und Wasserdämpfen in sehr ungleichem wechselnden Verhältnisse gemischt, und die Eigenschaften beider Mischungstheile in Beziehung auf das Licht müssen wir näher untersuchen. Wenn die Dünste sich so sichtbar niedergeschlagen haben, daß sie sich dem Auge als Nebel oder als Wolken zeigen, so bemerken wir nicht, daß eine Art von Farbenstrahlen mehr als die andre durchgelassen oder mehr als die andre zurückgeworfen werde; eine Nebelmasse sieht weiß aus, wenn die Sonne darauf scheint, die von der Sonne stark erhellten Wolken erscheinen mit schönem weißen Glanze, dagegen sehen die Wolken grau aus, wo sie von schwächerem Lichte getroffen werden, und die grauen Schattirungen der an einer Seite von der Sonne beleuchteten, bergig aufgethürmten Wolken zeigen uns ihre beschatteten Theile abstechend gegen die von der Sonne erleuchteten. Aber auch die durchgelassenen Strahlen sind rein weiß, indem bekanntlich die durch einen dicken Herbstnebel durchblickende Sonne völlig silberweiß erscheint. Eben so zeigen sich uns die leichten Wolken silberweiß, wenn die Sonne sie erleuchtet, und auch die von ihnen bedeckte Sonne zeigt sich nicht farbig. — Anders ist es mit dem Rauche, der von der Sonne beschienen, blau erscheint, und uns die Sonne roth zeigt, wenn wir sie durch den Rauch sehen; der Rauch läßt die gelben und rothen Strahlen durch und reflectirt die blauen. — Trockne Nebel haben einiges mit dem Rauche gemein.

Die reine Luft scheint dagegen die Eigenschaft zu haben, daß sie die mehr brechbaren Strahlen, die zusammen Blau darstellen, besser zurückwirft, die weniger brechbaren, die in ihrer Mischung Orange geben, vorzugsweise durchläßt. Diese Eigenschaft erklärt das Blau des Himmels und das Roth der Abendröthe. Wenn die Luft mit Dünsten, die sich schon niederschlagen, gefüllt ist, so ist der Himmel weißlich, weil von diesen Dünsten weiße Lichtstrahlen zurückgeworfen werden, die sich mit dem Blau der in der Luft, gleichsam an jedem Lufttheilchen reflectirten Strahlen mischen; zu solchen Zeiten ist auch die Abendröthe weißlich, hellgelb, weil die durchgelassenen Strahlen zwar zum Theil ihres Blau beraubt sind, aber die Erfüllung mit Dünsten kein sehr ungleiches Verhältniß der Farben in den durchgelassenen Strahlen zuläßt; — die Sonne geht dann nicht roth, sondern weißlich gelb unter. Bei recht dunstfreier Luft dagegen ist der Himmel dunkelblau, weil die Luft überhaupt nicht sehr viele Strahlen zurückwirft, und fast nur blaue und violette Strahlen; auf hohen Bergen ist dieses Blau immer dunkler, offenbar weil die Luft dort zu dünne ist, um noch viel Licht zu reflectiren, und man kann also mit Recht schließen, daß nur die Luft die Ursache dieses zurückgeworfenen Lichtes ist, daß also in noch viel größern Höhen der Himmel ganz schwarz, von gar keinem Lichte erhellt oder keines zurückstrahlend, erscheinen müßte. Daß am Tage bei hohem Stande der Sonne diese uns weiß erscheint, obgleich die Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre etwas blaues Licht verloren haben, ist wohl nicht auffallend, da doch immer ein, gegen das gesammte Sonnenlicht, nur kleiner Antheil blauen Lichtes verloren gegangen ist, also auch nur ein wenig merklicher Ueberfluß

Digitized by Google

gelben Lichtes vorhanden sein kann. Am Abend aber beim Untergange der Sonne und am Morgen beim Aufgange der Sonne geht der Strahl so weit durch dichtere Luftschichten fort, daß er einen bei der starken Schwächung des Lichtes sehr merklichen Ueberschuß an gelben und rothen Strahlen enthalten muß; daher erscheint uns dann die Sonne roth und auch die doch nie fehlenden Dünste zeigen sich roth oder orangefarben erleuchtet, der ganze Horizont glänzt in der Abendröthe. Stehen Wolken am Horizonte, so sind einige weißgelblich, andre orangefarben, andre dunkelroth glänzend; die ersteren sind die am höchsten stehenden, die, wenn die Sonne tiefer unter den Horizont hinabsinkt, sich ebenfalls röthen, die aber, so lange sie die Strahlen noch nicht durch die tiefsten Luftschichten erhalten, noch von minder rothen Strahlen erleuchtet werden. Zuweilen stehen mitten zwischen den glänzenden Wolken dunkle, blaue Wolken; — von diesen kann man wohl immer annehmen, daß sie im Schatten von Wolken, zuweilen von Wolken, die unter unserem Horizonte sind, stehen, und bei genauer Aufmerksamkeit sieht man in solchen Fällen, daß dieser Schatten bei tieferem Sinken der Sonne auf andre Wolken übergeht. Das dunkle Blau dieser Wolken muß daher rühren, daß sie das wenige Licht, welches sie zurücksenden, nur dem Blau des Himmels verdanken, indem keine directe Sonnenstrahlen auf sie fallen. Sind am Horizonte Wolken, dick genug, daß ihr eigner Schatten die Erleuchtung an der uns zugekehrten Seite hindert, so sehen wir sie dunkel mit rothem, purpurfarbenem Rande. Sehen wir die Berge im Glanze des Abendrothes, so erscheinen sie entweder völlig roth, wenn sie uns sonst weiß erschienen wären, oder violettlich, wenn ihr natürliches Blau sich mit dem Roth der Abendröthe mischt; blau nämlich würden sie erscheinen, weil an der der Sonne gegenüber oder seitwärts liegenden Seite, doch immer noch die zwischen dem Auge und dem Berge liegende Luft unter den von allen Seiten, vom blauen Himmel her, sie treffenden Strahlen, die blauen am besten zurückwirft, und daher der roth erleuchtete Berg gleichsam hinter einem blauen Schleier liegt.

Auch die Erscheinung der Dämmerung erklärt Brandes nach diesen Grundsätzen. Wenn an einem heitern Abend die Sonne untergegangen ist, so zeigt sich bald am östlichen Horizonte ein dunkelblauer bogenförmig begrenzter Raum, über welchen sich der Himmel etwas röthlich, höher hinauf weiß, endlich gegen das Zenith blau zeigt. Jener dunkle Kreisabschnitt entsteht durch den Schatten, welchen die Erde auf die Atmosphäre wirft; weil keine Sonnenstrahlen mehr auf diese Gegend der Luft gelangen, so zeigen sich die Dünste und die Luft selbst sehr schwach erleuchtet, und blau erleuchtet, weil auch der lebhaftere Theil der Abendröthe in jener Gegend der Atmosphäre schon untergegangen ist, also das Blau der in höheren Luftgegenden zurückgeworfenen Strahlen dort noch am meisten zu der schwachen Erleuchtung beiträgt. Der röthliche Bogen über dem Dunkel bezeichnet die Gegend, wo das lebhafteste Abendroth noch genug in der unteren Luft befindliche Dünste trifft, um sie durch rothe Erleuchtung kenntlich zu machen; das Weiß, welches diesen Bogen umgibt, gehört einer Gegend

Digitized by Google

an, wo das von der reineren obern Luft reflectirte Blau der Sonnenstrahlen selbst sich mit dem von den Dünsten zurückgeworfenen Roth der Abendröthestrahlen vermischt und so dem Auge ein aus allen Farbenstrahlen gemischtes Weiß darstellt; am Zenith endlich ist der Himmel blau, weil unsre Gesichtslinie durch zu wenige rothgefärbte Dünste geht, um uns durch ihre reflectirten Strahlen eine das Blau ganz aufhebende weiße Mischung zu zeigen. Ungefähr eben so verhält es sich am westlichen Himmel, wo ebenfalls das Orange der Abendröthe einige Zeit nach Sonnenuntergang einen Uebergang durch Weiß zum Blau, das am Zenith sich noch zeigt, darstellt. Die Dünste nämlich, die sich in der nach diesem Weiß hingezogenen Gesichtslinie befinden, geben die rothen Strahlen theils der Sonne selbst, theils der Abendröthe zurück, und die höheren reineren Luftschichten würden für sich allein sich blau zeigen, sie gewähren uns daher ebenfalls eine Mischung aller Farben, und darum ist der Uebergang von Orange zum Blau hier gewöhnlich ein ziemlich reines Weiß.

Wir gelangen durch kein anderes Mittel zu irgend welchen Wahrnehmungen des Lichtes und damit der Farben, als durch unsere Augen und schon hieraus ist klar, daß die Beschaffenheit dieser von besonderem Einflusse auf alle von uns wahrgenommenen Farbenerscheinungen sein müsse. Als die wahren Farben der uns erscheinenden Körper nehmen wir allgemein die an, über welche die Mehrzahl der Menschen, d. h. alle diejenigen, denen wir eben gesunden Gesichtssinn zuschreiben, einig sind; wir nennen diese Farben objective, weil wir sie wirklich dem Gegenstande (lat. objectum) in Bezug auf jedes denselben betrachtende Subject zukommend erklären. Es gibt aber eine große Anzahl Licht- und Farbenerscheinungen, welche bei einer gewissen Affection des Auges auftreten, dieselben sind streng bedingt durch die Beschaffenheit des Auges selbst und die es in jedem Falle afficirenden Umstände; da sie aber nur dem, eben in dieser bestimmten Weise afficirten Subjecte (einzelnen Person) erscheinen, und jene afficirenden Umstände gegen die betrachteten Körper, an denen wir sonst Farbenerscheinung wahrnehmen, als etwas zufälliges erscheinen, so nennt man dieselben subjective oder zufällige Farben, und da sich ihre Erscheinung aus der natürlichen Beschaffenheit des Auges erklären läßt, welche durch die einwirkenden Umstände nothwendig so und nicht anders afficirt werden muß: physiologische (von dem griech. φύσις Natur) Farben.

Zunächst ist zu bemerken, daß unser Auge von dem Schöpfer so eingerichtet ist, daß das weiße Licht, ohne von ihm in seine Farbenstrahlen zerlegt zu werden, durch dasselbe hindurch geht. Hätte unser Auge z. B. die Eigenschaft des Prisma, so würden wir alle durch weißes Licht beleuchteten Gegenstände mit bunten Farbenrändern begrenzt wahrnehmen. Wie wichtig es aber ist, die Natur des Auges genauer zu kennen, um manche ohnedieß höchst wunderbar erscheinende Gesichtseindrücke zu erklären, will ich zunächst nur an zwei Beispielen zeigen.

Digitized by Google

Das erste ist eine zuerst von Mariotte bemerkte Thatsache, daß jeder Mensch auf jedes seiner Augen für einen bestimmten Punkt vollkommen blind ist. Sieht man mit dem rechten Auge, so liegt dieser Punkt stets ungefähr 15° zur Rechten des Gegenstandes, welchen wir sehen, oder rechts von der Augenachse, oder dem Punkte des deutlichsten Sehens. Sieht man mit dem linken Auge, so liegt jener Punkt eben so weit zur linken. Man lege zwei gefärbte Oblaten auf ein Blatt weißen Papiers drei Zoll weit von einander; darauf bringe man das Gesicht so über das Papier, daß die beide Oblaten verbindende gerade Linie parallel mit einer beide Augen verbindenden geraden Linie ist, und, daß sich das eine Auge z. B. das rechte in einer Entfernung von 11 bis 12 Zoll senkrecht über der linker Hand liegenden Oblate befindet. Mit diesem rechten Auge sehe man nun fest auf die darunter liegende Oblate, so wird man so lange man noch beide Augen geöffnet erhält, auch die andere Oblate wahrnehmen, schließt man aber das linke Auge, so ist dieselbe plötzlich verschwunden, die ganze Umgebung der links liegenden Oblate erscheint weiß, es ist als wenn die andere Oblate gar nicht vorhanden wäre. Eben so kann man das linke Auge senkrecht über die rechtsliegende Oblate bringen, und das rechte Auge schließen, dann verschwindet die links liegende Oblate. Der Grund dieser auffallenden Erscheinung wird alsbald klar, wenn man das Auge des Menschen genauer untersucht. Man findet nämlich, daß die Stelle der Netzhaut des Auges, welcher diese Unempfindlichkeit gegen das Licht zukommt, der Ort sei, an welchem der Sehnerve in das Auge tritt, und sich ausbreitend die Netzhaut bildet. Brewster bemerkt bei Anführung dieser Erscheinung noch, daß wenn gleich Licht von gewöhnlicher Intensität keinen Eindruck auf diesen Theil des Auges macht, dieser doch dann erfolgt, wenn das Licht sehr stark ist. Wenn man Kerzen oder stark leuchtende Körper statt der Oblaten anwendet, so verschwindet der Körper nicht gänzlich, sondern es bleibt ein schwaches wolkiges Licht zurück, ohne jedoch etwas einem Bilde des Gegenstandes Aehnliches, von dem das Licht ausgeht, zu erzeugen. Wählt man zu den Gegenständen zwei weiße Oblaten auf schwarzem Grunde, so verschwindet die weiße Oblate gänzlich nnd die von ihr bedeckte Stelle erscheint vollkommen schwarz. Da nun das Licht, von dem eine Landschaft erleuchtet wird, von dem einer weißen Oblate nicht sehr verschieden ist, so sollte man erwarten, man möge sich eines oder beider Augen zum Sehen bedienen, *) daß man einen schwarzen oder dunklen Fleck, auf jeder Landschaft innerhalb 15° des Punktes, der besonders unsere Aufmerksamkeit auf sich zieht, erblicken werde. Allein ungeachtet die Basis des Sehnervens unempfindlich gegen das gerade auf dieselbe fallende Licht ist, so kann sie doch Lichteindrücke von den Theilen, welche sie

*) Sind beide Augen geöffnet, so wird der Gegenstand, dessen Bild auf die unempfindliche Stelle des einen Auges fällt, von dem anderen gesehen, so daß, obgleich er nicht unsichtbar ist, er nur halb so stark erleuchtet erscheint, und dem zu Folge müßten zwei dunkle Flecke gesehen werden.

Digitized by Google

umgeben, annehmen. Die Folge hiervon ist, daß, wenn die Oblate verschwindet, die Stelle, welche sie einnahm, statt schwarz zu erscheinen, stets von derselben Farbe gesehen wird, wie der Grund, auf dem die Oblate liegt, weiß (wie im zuerst angeführten Falle), wenn derselbe weiß, roth, wenn er roth ist. Diese merkwürdige Eigenschaft, sagt Brewster, läßt sich auf eine ungefähre Weise so erklären, daß man die Netzhaut mit einem Blatt Löschpapier, die Basis des Sehnervens aber mit einem kreisförmigen Fleck desselben vergleicht, der mit einem Stücke Schwamm bedeckt wurde. Fällt ein Regenschauer auf das Papier, so wird der geschützte Theil nicht von dem Regen, der auf den Schwamm fällt, genäßt werden; allein nach wenigen Secunden wird er eben so von der Feuchtigkeit, die er aus dem nassen Papiere, von welchem er umgeben ist, annimmt, genäßt sein. Ganz so wird der unempfindliche Theil auf der Netzhaut von erborgtem Lichte gereizt werden, und der scheinbare Mangel wird so vollständig entfernt, daß sein Dasein nur durch den beschriebenen Versuch bestimmt werden kann.

Die zweite merkwürdige Thatsache, welche ihren Grund in der Eigenthümlichkeit des Auges hat und den ich hier anführen will, um zu zeigen, wie nothwendig es ist die Beschaffenheit des Auges genau zu kennen um nicht Täuschungen aller Art ausgesetzt zu sein, ist folgender. Wenn man einen, auf einer weißen Fläche liegenden schwarzen Gegenstand betrachtet, so erscheint rings um den Gegenstand ein hellerer Rand auf dem weißen Grunde, gleichsam ein den Gegenstand rings umgebender Lichtschein; und wenn man einen auf grauem Grunde liegenden weißen Gegenstand betrachtet, so zeigt sich rings um den Gegenstand das Grau des Grundes dunkler, als auf der übrigen Fläche.*) Hieran schließt sich genau noch die Erscheinung, daß, wenn man einige Zeit unverwandt ein gegen den hellen Himmel gerichtetes Fenster, wo also das Kreuz dunkel, die Scheiben hell erscheinen, angeblickt hat, man, nachdem das Auge geschlossen worden, ein Bild des Fensters erblickt, dessen Kreuz hell ist und dessen Scheiben dunkel sind. Alle diese und ähnliche Erfahrungen kommen nach Brandes darauf zurück, daß ein durch stärkeres Licht mehr gereizter Theil der Netzhaut abgestumpft wird, und daher, wenn er nun eben so, als die umgebenden Theile, von mäßigem Lichte angeregt wird, sich minder empfänglich zeigt, oder uns die Empfindung matteren Lichtes wahrnehmen läßt. Hat dagegen ein Theil der Netzhaut, auf welchem der dunkle Gegenstand sich abbildete, Ruhe genossen, indem wenig oder gar kein Licht auf ihn fiel, so ist er jetzt empfänglicher für den Eindruck des Lichtes, und wenn

*) Ich entsinne mich, als Knabe auf eine mir damals wunderbar erscheinende Weise, meinen auf dem Schulkatheder vor einer weißen Wand stehenden Lehrer, öfters wie mit einem Heiligenschein rings umgeben erblickt zu haben, der Grund war derselbe wie bei der oben angeführten Thatsache, indem der Mann schwarz gekleidet ging, und lange schwarze Haare hatte. Je länger und unverwandter ich ihn anblickte, desto lichter erschien der helle Schein um ihn auf der weißen Wand.

Digitized by Google

dann die Strahlen des Weiß oder des Grau bei einer etwas veränderten Richtung der Augenaxe eben dahin fallen, so ist unsere Empfindung so, als ob das Weiß glänzender und das Grau heller wäre. Und eben so macht das schwache Licht, welches durch das geschlossene Auge noch unsere Sehorgane trifft, auf diejenigen Theile der Netzhaut den schwächsten Eindruck, welche eben durch das stärkere Licht des durch die Fensterscheiben gesehenen hellen Himmels gereizt waren, während die Theile, auf welchen die dunkeln Fensterkreuze und Einfassungen der Scheiben sich abbildeten, jetzt für den Eindruck des schwachen Lichtes empfänglicher sind. *)

Aehnliches, wie in Bezug auf Schwarz und Weiß findet nun auch statt, wenn man farbige Gegenstände auf einem weißen oder gleichfalls farbigem Grunde betrachtet. Brandes führt in dieser Beziehung folgende Versuche an, die Buffon zuerst angestellt hat.

Man lege seidenes Band von irgend einer recht reinen, lebhaften Farbe auf ein schön weißes Papier, richte, während Band und Papier von nicht zu schwachem Tageslichte erhellt sind, das Auge darauf, so als ob es darauf ankäme, jedes feinste Pünktchen des Bandes genau wahrzunehmen: so bemerkt man sehr bald, daß der zugleich mit im Gesichtsfelde des Auges liegende Theil des weißen Papiers farbig erscheint, und zwar die Farbe zeigt, die als Ergänzungs-Farbe der Farbe des Bandes zugehört. Diese Färbung zeigt sich am lebhaftesten dicht um den Rand des farbigen Bandes, und wenn man mit einiger Aenderung der Richtung der Augenaxe auf diesen Rand sieht, so erkennt man hier die Ergänzungsfarbe am deutlichsten, und weiterhin an den äußersten Grenzen des Gesichtsfeldes glaubt man eher wieder einen schwachen Schimmer der Farbe aus dem Weiß hervortreten zu sehen, welche dem Bande eigen ist. Zieht man, nachdem der farbige Rand um das Band sich zu zeigen anfing, ohne die Richtung des Auges zu ändern, das Band weg, so erscheint die ganze Fläche, die vorhin das Band bedeckte, zwar blaß, aber doch schön und rein mit jener Ergänzungsfarbe ausgestattet. War das Band rosenroth, so ist diese hervorgehende Farbe, diese wie v. Göthe es ausdrückt, geforderte Farbe, ein schönes Grün; war das Band grün, ohne sich merklich in's Blau oder in's Gelb hinüber zu neigen, so ist die geforderte Farbe ein schönes Rosenroth; war das Band hellgelb, so zeigt sich nachher ein blasses Violett, und der Blick auf violettes Band bringt nachher die Erscheinung des Strohgelben hervor, dunkles Gelb, etwas in's Orange hinneigend, zeigt uns nachher ein Hellblau, so wie umgekehrt das hellblaue Band die weiße Fläche nachher in hellem orangefarbenen Lichte zeigt. — Man kann leicht eine Reihe Versuche mit mancherlei Abstufungen von Farben anstellen, wo-

*) Durch längeres Einwirken helleren Lichtes wird das Auge für dieses abgestumpft und durch längeres Entbehren des Lichtes empfänglicher für dasselbe; eine bekannte Thatsache. Dem aus dem Hellen Kommenden erscheint ein schwach erleuchteter Raum völlig finster, dem aus dem Finstern Kommenden hell erleuchtet.

Digitized by Google

zu die seidenen Bänder wegen ihres reinen Farbenglanzes sich besonders geeignet zeigen, und immer wird man diese Behauptung, daß die Ergänzungsfarbe, zwar mit vielem Weiß gemischt, aber dennoch deutlich hervortritt, bestätigt finden. Man kann den eben erzählten Versuch auch so abändern, daß man ein grünes Band auf rosenrothen Grund legt, und nachdem man das Grün lange scharf angesehen hat, nach dem rothen Grunde blickt, oder die dem Grün zunächst liegenden Theile des Roth betrachtet; dann erscheint da, wo bei weißem Grunde die geforderte Farbe sich zeigte, das Rosenroth schöner, etwas gesättigter, als es vorher der Fall war; und genau so, wie der graue Grund um den schwarzen Kreis heller erschien, zeigt sich das Roth lebhafter im Gegensatze gegen die Farbe, die gar kein Roth enthält, oder die Ergänzungsfarbe des Roth ist. Mit Gelb und Violett, Orange und Blau würde es sich eben so verhalten, nur muß man immer bemerken, daß der Grund, auf welchem die Verstärkung oder der lebhaftere Eindruck der Farbe hervortreten soll, nicht zu dunkel sein muß.

Buffon erzählt auch noch folgenden Versuch: Wenn man ein rothes Quadrat lange ansieht, so erscheint es bald mit blassem, schönen Grün umgeben; richtet man das Auge länger darauf, so sieht man das Quadrat in der Mitte blässer, an den Seiten tiefer gefärbt. Entfernt man sich nun ein wenig, während man denselben Gegenstand noch immer scharf betrachtet, so sieht man alle vier Seiten des tief rothen Vierecks sich in zwei theilen und ein eben so tief rothes Kreuz bilden. Das rothe Viereck erscheint dann wie ein Fenster, das mitten ein starkes Kreuz und weißliche Scheiben hat. Bei noch längerem angestrengten Hinsehen verwandelt sich das Ganze in ein so tief rothes Rechteck, daß es die Augen blendet; dieses Rechteck ist eben so hoch als das Quadrat, aber nur ein Sechstel so breit; und dieses ist der letzte Grad der Erscheinung, den das höchst ermüdete Auge noch ertragen kann. Wendet man alsdann das Auge nach einem weißen Grunde, so sieht man ein eben so geformtes, schön und glänzend grünes Rechteck, welches erst langsam verschwindet.

Auch von diesen Erscheinungen findet Brandes die Erklärung in dem Umstande, daß das Auge durch anhaltendes Anschauen einer bestimmten Farbe für diese geblendet wird und nur in dem auf es fallenden (alle Farben enthaltenden) weißen Lichte nicht diese Farbestrahlen wahrnimmt, sondern nur die übrigen, d. h. die jenes zu weiß ergänzende Farbe.

Auch folgender von Brewster angeführte Versuch gehört hierher. Schneidet man aus rothem Papier eine Figur aus, legt diese auf weißes Papier und blickt dann einige Secunden lang mit einem oder beiden Augen unverwandt auf einen Theil derselben, so wird man bemerken, daß die rothe Farbe weniger glänzend wird. Wendet man das Auge von der rothen Figur ab, so sieht man deutlich eine grüne Figur, welche das Spectrum oder die zufällige Farbe der rothen ist. Wendet man verschiedentlich gefärbte Figuren an, so sind auch die Spectra verschiedentlich gefärbt, wie aus nachstehender Tabelle zu ersehen:

Digitized by Google

Ursprüngliche Farbe der Figuren.	Farbe der Spectra.
Roth,	Bläulich Grün.
Orange,	Blau.
Gelb,	Indigo.
Grün,	Röthlich Violett.
Blau,	Oranienroth.
Indigo,	Oraniengelb.
Violett,	Gelb.
Weiß,	Schwarz.
Schwarz,	Weiß.

Die beiden letzten Versuche nämlich mit weißen und schwarzen Figuren lassen sich befriedigend anstellen, indem man ein weißes Medaillon auf schwarzem Grunde, und einen schwarzen Schattenriß anwendet. Das Spectrum der ersten wird schwarz, das des letzteren weiß sein. Diese Gesichtsspectra zeigen sich oft von selbst ohne Anstrengung von unserer Seite, selbst ohne unser Wissen. In einem mit lebhaften Farben gemalten, von der Sonne erleuchteten Zimmer erblickt man stets diejenigen Gegenstände, auf welche die Sonne nicht fällt, mit den entgegengesetzten oder zufälligen Farben. Scheint die Sonne durch einen Riß eines rothen Fenstervorhanges, so erscheint ihr Licht grün, indem, den Bestimmungen in der obenstehenden Tabelle gemäß, das durch den Vorhang gefärbte Licht diese Abänderung erleidet. So erscheint das Bild der Flamme einer Kerze, welches von dem Wasser in einem blauen Weinglase zurückgeworfen wird, gelb. Kurz, wird das Auge von einer vorherrschenden Farbe afficirt, so sieht es zu gleicher Zeit die zufällige Farbe; eben so, wie bei einer angeschlagenen Saite das Ohr zugleich den Grundton und den harmonischen wahrnimmt.

Ist das vorherrschende Licht weiß und sehr stark, so sind die Spectra nicht ferner schwarz, sondern sie bilden eine Folge von verschiedenen Farben. Blickt man nach der Sonne, wenn diese nahe am Horizonte steht, oder wenn ihr Bild vom Wasser reflectirt wird, so daß dadurch ihr Glanz gemildert wird, und heftet man wenige Secunden unverwandt das Auge darauf, so sieht man, das Auge mag geöffnet oder geschlossen sein, sogar Stunden nachher ein Bild der Sonne, dessen Farben sich verändern. Anfänglich, wenn das Auge geöffnet ist, ist das Bild bräunlichroth mit einer himmelblauen Einfassung, und wenn das Auge geschlossen ist, ist es grün mit rothem Rande. Das Roth wird glänzender, das Blau lebhafter, bis der Eindruck nach und nach immer schwächer wird. Selbst dann aber, wenn derselbe einen hohen Grad der Verblassung erfahren hat, kann er durch einen sanften Druck auf den Augapfel wieder belebt werden. *)

Besonders zu erwähnen sind noch diejenigen Erscheinungen, **)

*) S. d. Art. Abklingen der Bilder.

**) Obgleich diese Erscheinungen streng genommen nicht in den Art. Farbe gehören, so finden sie doch hier eine passende Anknüpfung.

Digitized by Google

welche man bei einem auf das Auge ausgeübten Drucke wahrnimmt. Die feinen Nervenfasern, aus welchen die Netzhaut gebildet ist, und welche sich bis zum Gehirn erstrecken, besitzen die merkwürdige Eigenschaft, durch Druck leuchtend oder phosphorisch zu werden. Drückt man den Augapfel durch den zwischen ihn und die Nase gelegten Finger nach Außen, so sieht man einen Lichtkreis, den Newton „als einen den Federn im Pfauenschweife an Farben ähnlichen Farbenkreis" beschreibt. Derselbe fügt hinzu: bleiben das Auge und der Finger ruhig, so verschwinden diese Farben binnen einer Secunde; wird jedoch der Finger mit zitternder Bewegung fortgeschoben, so kommen sie wieder zum Vorschein. Brewster konnte bei allen in dieser Beziehung von ihm angestellten Versuchen niemals eine andere Farbe, als die weiße wahrnehmen. In dem Falle, wenn die Augenlieder geschlossen waren, war allgemein eine röthliche Färbung wahrzunehmen. Letztere rührt von dem durch die Augenlieder hindurchgehenden Lichte her. Die Lichtkreise dauern so lange, als der Druck fortgesetzt wird, und können mit eben der Leichtigkeit erzeugt werden, das Auge mag sich im Dunkeln oder kurze Zeit vorher dem Lichte ausgesetzt befunden haben. Wird ein sehr sanfter Druck angewendet, so daß die feine markige Substanz der Netzhaut zusammengedrückt wird, so entsteht sogleich, wenn das Auge in völliger Dunkelheit sich befindet, eine Lichterscheinung. Läßt man in diesem Zustande Licht auf dasselbe fallen, so ist der gedrückte Theil empfindlicher gegen das Licht, als irgend ein anderer, und hat demnach die Empfindung eines lebhafteren Lichtes. Wird der Druck verstärkt, so wird der Augapfel, welcher mit nicht zusammendrückbaren Flüssigkeiten angefüllt ist, diese rund um die Stelle des Druckes hervortreiben; es wird demnach die Netzhaut an dem vordringenden Theile durch den äußeren Druck der eingeschlossenen Flüssigkeit zusammengedrückt werden, während die Netzhaut auf jeder Seite, namentlich unter der gedrückten Stelle und jenseits des hervorgetriebenen Theiles gegen diesen hingezogen oder ausgedehnt wird. Daher ist der Theil unter dem Finger, welcher ursprünglich zusammengedrückt wurde, jetzt ausgedehnt, die anliegenden Theile zusammengedrückt und die entfernteren Theile unmittelbar außerhalb dieses ebenfalls ausgedehnt. Nun wurde (von Brewster) bemerkt, daß, wenn das Auge unter diesen Umständen dem Lichte ausgesetzt wird, ein glänzender Lichtkreis gebildet werde, der nach Außen und Innen in völlige Finsterniß übergeht. Hieraus folgt nach Brewster: wird die Netzhaut in völliger Dunkelheit gedrückt, so gibt sie Licht aus; wird sie, dem Lichte ausgesetzt, gedrückt, so wird ihre Empfindlichkeit fürs Licht vergrößert; wird sie, dem Lichte ausgesetzt, ausgedehnt, so wird sie vollkommen blind, oder unempfindlich gegen alle Eindrücke des Lichtes.

Wenn sich der Körper im Zustande vollkommener Gesundheit befindet, so zeigt sich die Phosphorescenz des Auges bei mehren Veranlassungen. Bei einem plötzlichen Stoß, welcher das Auge oder den Kopf trifft, fahren Blitze aus dem Augapfel. Bei dem Schneuzen sendet das Auge Lichtstrahlen aus; sowohl bei dem Einathmen als dem nachmaligen Fortstoßen der Luft. Bläst man heftig Luft durch die Na-

Digitized by Google

senlöcher, so erscheinen zwei Lichtflecke über der Augenaxe und der Vorderseite derselben, während zwei andere leuchtende Flecke sich zu einem verbinden und um die Nasenspitze erscheinen, wenn das Auge dahin gerichtet wird. Wenden wir den Augapfel durch Wirkung seiner eigenen Muskeln, so wird die Netzhaut an der Stelle, wo die Muskeln befestigt sind, afficirt. Man sieht jedem Auge gegenüber und gegen die Nase zu zwei Halbkreise von Licht und zwei andere ausnehmend schwache gegen die Schläfe. Unter besonderen Umständen, unter welchen die Netzhaut stärker phosphorescirt, als bei anderen, erweitern sich diese Halbkreise zu vollständigen Lichtkreisen. Bei Krankheiten erscheint die Phosphorescenz der Netzhaut unter neuen, mehr beunruhigenden Gestalten. Leidet der Magen an einer vorübergehenden, von Kopfschmerz begleiteten Unordnung, so gibt sich der Druck der Blutgefäße auf die Netzhaut bei völliger Dunkelheit durch ein schwach blaues Licht kund, das vor dem Auge schwimmt, seine Gestalt verändert und nach einer Seite hin vorüberzieht. Dieses blaue Licht nimmt an Intensität zu, wird grün, dann gelb und steigt manchmal bis zum Roth. Häufig werden alle diese Farben zu gleicher Zeit erblickt, oder die Lichtmasse schwindet über in Dunkelheit.

Quetelet macht darauf aufmerksam, daß Newton und Brewster sich nur mit den Erscheinungen beschäftigt zu haben scheinen, welche durch einen Druck auf Ein Auge erzeugt werden, daß aber noch sonst merkwürdige Erscheinungen erfolgen, wenn man symmetrisch zugleich auf beide Augen drückt. Die Erscheinungen nehmen dann eine regelmäßige Form an, welche bei allen Personen gleich zu sein scheint. Uebt man z. B. gleichzeitig einen Druck auf beide Augen aus in entgegengesetzten Richtungen, wie wenn man sie einander nähern oder voneinander entfernen wollte, so gewahrt man anfangs ein bläulichrothes Licht und darauf nach einigen Augenblicken ein gelblichweißes; fast zu gleicher Zeit zerfällt das Licht in kleine Rauten, die regelmäßig auf einem Bündel gerader Linien vertheilt sind, die gegen einen und denselben Mittelpunkt zusammenlaufen und wie es scheint nicht über 45° nach jeder Seite von der Senkrechten auf der geraden Linie, welche die Mittelpunkte beider Augen verbindet, sich entfernen. Dieser Bündel gerader Linien zeigt sich nur ein Weilchen und scheint sich umzuformen in Hyperbeln, welche sämmtlich die gerade Linie zwischen beiden Augen zur gemeinschaftlichen Axe haben, auch gemeinschaftliche Brennpunkte besitzen, in denen sich gestaltlose röthliche Flecke bilden; diese Brennpunkte weichen darauf auseinander und der Grund dieses glänzenden Gemäldes wird sehr wellenförmig. Diese glänzenden Wellen schießen, wie es scheint, in jedem Augenblick von verschiedenen Punkten aus, und besonders von dem, welcher den Centralpunkt für den Bündel der Geraden und für die Hyperbeln bildete. Sobald der Druck aufhört oder nachzulassen anfängt, gewahrt man nichts weiter als einen schwarzen Fleck, umgeben von einem gelblichen Lichte und bedeckt mit kleinen gelben und rothen Fäden, welche sich mit sehr großer Schnelligkeit bewegen. Fährt man fort die Augen geschlossen zu halten, so nimmt dieser Fleck und der ihn umgebende Kreis endlich eine gleich-

Digitized by Google

förmige röthliche Farbe an, welche sehr lange anhält und zuletzt allmählig erlischt.

Indem ich hier die Erscheinungen des Abklingens der Bilder, der farbigen Schatten, so wie der aus mangelhafter Construction sich ergebenden Gesichtstäuschungen in Bezug auf die Farben (s. d. Art. Gesicht) als unter eigenen Artikeln abgehandelt übergehe, führe ich nur noch zwei merkwürdige Fälle des Auftretens subjectiver Farben nach Brandes an. Nimmt man ein gelbes ins Orange übergehendes Glas und legt es so, daß man die Sprossen eines Fensters, durch welches der helle Himmel gesehen wird, in jenem Glase abgespiegelt sieht: so sieht man, wie bei allen Spiegeln, ein doppeltes Bild, eines nämlich durch Zurückwerfung von der Vorderfläche, eines durch Zurückwerfung von der Hinterfläche des Glases. Das Bild des Fensterkreuzes, welches die Hinterfläche gibt, erscheint blau, das von der Vorderfläche reflectirte orangefarben, aus folgendem Grunde. Unser Auge erhält wegen dieser doppelten Spiegelung (Fig. 141.) aus jedem Punkte D der obern Seite der Glastafel AB zwei von verschiedenen Gegenständen ausgehende Lichtstrahlen, indem der Punkt E durch Spiegelung an der obern Fläche, der Punkt F durch Spiegelung an der untern Fläche in C von dem Auge O nach der Richtung OD gesehen wird. Ist nun ED sowohl als FC ein vom hellen Himmel kommender Strahl, so sieht das Auge O diesen hellen Punkt bloß orangefarben, weil bei C gefärbtes, bei D ungefärbtes Licht zurückgeworfen wird, und die Mischung beider ein blasseres Gelb als sonst der Glastafel beim Hindurchsehen eigen ist, gibt; ist dagegen in F ein dunkler Gegenstand, wie das Fensterkreuz, von welchem gar keine oder wenigstens nur matte und unbedeutend helle Lichtstrahlen ausgehen, so empfängt das Auge O bloß ungefärbte Lichtstrahlen, die aus den eben erklärten Gründen die Empfindung des Blau hervorbringen, so daß das dunkle Bild des Fensterkreuzes, das von der Hinterseite dargestellt wird, als blau erscheinen muß. Umgekehrt zeigt sich das Fensterkreuz in der Vorderfläche abgebildet mit der völlig tiefen Orangefarbe, die dem Glase eigen ist, weil hier von C aus das gelbgefärbte Bild des hellen Himmels zum Auge gelangt, welches jetzt nicht wie vorhin durch Beimischung weißen Lichtes ein blasseres Ansehen erhalten kann, weil in D kein Lichtstrahl vom hellen Himmel hingelangt. Ist der dunkle Gegenstand so breit, daß beide Lichtstrahlen, die wie ED, FC einfallen sollten, durch ihn aufgehalten werden, so sieht das Auge O in D bloßes Dunkel, oder da fast nie ein Gegenstand ohne alles Licht ist, die matte Erleuchtung die diesem angemessen ist. Bei jeder andern Farbe würde es sich eben so verhalten. Insbesondere sind schwach grün tingirte Glasstücke sehr geeignet, das doppelte grün und rosenroth gefärbte Bild zu zeigen.

Folgender ist ein zuerst von Th. Smith angegebener, von Brandes mehrfach, wie er sagt, abgeänderter Versuch: Man halte einen schmalen Streifen weißes Papier 8 bis 12 Zoll vom Auge und blicke, während ein Kerzenlicht sich dem einen Auge sehr nahe, seitwärts stehend, befindet, das andere Auge aber beschattet ist, nach einem weit

Digitized by Google

jenseit des Papiers liegenden Gegenstande; man sieht dann bekanntlich den Papierstreifen doppelt, und bemerkt nun, daß der weiße Streifen dem beleuchteten Auge blaugrün, dem beschatteten Auge orangefarben, ja zuweilen ins Röthliche übergehend erscheint. Bringt man zwischen das Licht und das beleuchtete Auge ein gelbes Glas, so ist die Erscheinung ziemlich dieselbe; bringt man zwischen das erleuchtete Auge und das Licht ein blaues Glas, so sind beide gesehene Bilder ziemlich gleich, doch das mit dem beleuchteten Auge gesehene etwas minder gelb als das andere; beschattet man beide Augen, so sind die Bilder ganz gleich. Wird das eine Auge vom nahen Kerzenlichte ohne Schwächung beleuchtet, der Papierstreifen aber erhält das auffallende Licht durch ein orangefarbenes Glas, so sieht das beschattete Auge ein sehr gesättigtes Orange, das beleuchtete Auge ein sehr ins Gelbe übergehendes Grün. Fällt das Licht auf den weißen Streifen durch blaues Glas, so zeigt sich dem vom freien Kerzenlichte getroffenen Auge ein nur wenig lebhaftes aber rein grünes Bild, dem andern beschatteten Auge erscheint der weiße Streifen schön rosenroth. Ein hellblaues Band erscheint dem beleuchteten Auge tiefer blau, dem beschatteten fast ganz weiß; ein gelbes Band dagegen scheint dem beleuchteten Auge blasser, dem beschatteten dunkler gelb.

Es kann nöthig erscheinen, daß schließlich noch einiges über die oft genannte von Göthe herrührende Erklärung der Farben gesagt werde. Käme es bei einer physikalischen Erklärung nur darauf an, eine verständliche Vorstellung von dem Vorgange einer Erscheinung zu geben, so würde man nicht umhin können, der Götheschen vor der aus Newton's Darstellungen sich ergebenden den Vorzug einzuräumen, denn daß jeder auch noch so feine weiße Lichtstrahl aus einer Anzahl farbiger Strahlen bestehen soll, ist eine allerdings sehr unverständliche Vorstellung. Betrachtet man diese Annahme aber als einen Ausdruck zu Einführung mathematischer Betrachtung, so kann man sich an die Mangelhaftigkeit der von ihr gebotenen Vorstellung nicht stoßen, denn wer nur einigermaßen tiefer in Mathematik eingedrungen ist, wird sich an das Aufgeben der Vorstellung bei mathematischen Ausdrücken gewöhnt haben. *) Göthe's Erklärung ist, wie die Newtonsche ungeschickt zu deutlicher Vorstellung ist, so untauglich in mathematischer Hinsicht. Die Anhänger Newton's haben für ihre Ansicht einen Grund der Gewißheit, welchen Göthe von seinem Standpunkte nicht zu würdigen vermochte, nämlich den mathematischer Gewißheit, der aber darum doch noch weit entfernt ist, die Richtigkeit einer Vorstellung zu beweisen.

Göthe lehrt, daß das Licht etwas einfaches (nicht in Farben zerlegbares) sei, welches im Conflict mit der Finsterniß die Farben erzeuge. Helles durch Finsteres gesehen ist gelb oder roth in den verschiedenen Nüancen dieser Farben, Finsteres durch Helles gesehen ist blau. Das energische Licht der Sonne, des in Sauerstoffgas verbrennenden Phosphors ist blendend und farblos. Auch das Licht der Fixsterne kommt

*) Ich erinnere an mathematische Ausdrücke, wie $\sqrt{-1}$, $\frac{1}{3} = \frac{3}{10}$ $\frac{3}{1000} + \ldots$ u. a.

Digitized by Google

meiſt farblos zu uns. Sehen wir dieß Licht durch ein auch nur wenig trübes Mittel, ſo erſcheint es gelb. Durch ein trüberes Mittel erhöht ſich das Gelb, und endlich nimmt das Licht eine gelbrothe Farbe an, die endlich bis zum Rubinroth zunimmt. Erblicken wir z. B. die Sonne durch Dünſte, ſo erſcheint dieſelbe je nach Beſchaffenheit der Dünſte gelb, bis (wie beim Heerrauch und noch mehr beim Sirocco) rubinroth. Die Finſterniß des unendlichen Raumes, durch die vom Tageslicht erleuchteten atmoſphäriſchen Dünſte betrachtet, erſcheint als Blau, daher das Blau des Himmels. Auf hohen Bergen, wo nur wenige feine Dünſte vor dem unendlichen finſtern Raume ſchweben, erſcheint bei Tage der Himmel königsblau, während er in den Thälern, über welchen mehre und dichtere Dünſte lagern, heller blau geſehen wird. Je trüber das Mittel wird, deſto heller wird das Blau des durch jenes Mittel geſehenen Finſteren, je heller dagegen das Mittel iſt, deſto tiefer blau bis zum ſchönſten Violett erſcheint das Finſtere. Der Rauch, ein trübes Mittel, erſcheint hiernach vor einem dunkleren Grunde blau, vor einem hellen dagegen gelb oder roth. Wenn man vor eine Oeffnung eines eben von der Sonne beſchienenen Fenſterladens ein Stück Pergament befeſtigt, ſo erſcheint es weißlich, durch Hinzufügung eines zweiten Blattes erhält man eine gelbliche Farbe, je mehr Blätter man zufügt, deſto mehr nimmt die gelbe Farbe zu bis zum endlichen Uebergange in Roth. — Auf dieſe Grundanſicht, die hier nur mit wenigen Thatſachen belegt iſt (gegen welche jedoch auch mehre widerſprechende Erſcheinungen angeführt worden), bezieht Göthe alle Farbenerſcheinungen zurück.

Farbenringe Newton's ſind im Allgemeinen und Weſentlichen im Art. Anwandlungen beſprochen. Sie treten in allen denen Fällen auf, wo das Licht durch ſehr dünne durchſichtige Körper zurückgeworfen und gebrochen wird. Es kommt aber, um nähere Betrachtungen über ſie anſtellen zu können, namentlich darauf an, ſie auf eine in die Augen fallende und eine Meſſung derſelben möglich machende Weiſe zu erzeugen. In dieſer Abſicht muß man ſich einen ſehr dünnen Körper zu verſchaffen ſuchen, der rings um einen beſtimmten Punkt an Dicke nach einem beſtimmten Geſetze ab- oder zunimmt, ſo daß in gleichen Entfernungen von dieſem Punkte ſeine Dicke durchaus dieſelbe iſt. Bei einem feſten Körper läßt ſich eine ſo gleichmäßige Zunahme der Dicke nur ſehr ſchwer erreichen, man bedient ſich daher zu Beobachtung der Farbenringe ſtets nur tropfbar flüſſiger oder luftförmiger Körper. Man bildet ſich einen ſo geſtalteten dünnen flüſſigen Körper gewöhnlich mittelſt zweier Gläſer, deren eines oder beide ſphäriſch gekrümmt ſind, ſo daß ſie ſich auf einander gelegt nur an einem Punkte berühren, und rings um dieſen Punkt die Entfernungen beider von einander in gleichen Entfernungen von dem Berührungspunkte gleich ſind. Zwiſchen beiden Gläſern befindet ſich dann Luft oder eine Flüſſigkeit, und dieſe gibt das zu Erzeugung der Farbenringe erforderliche dünne Plättchen, indeß erſcheinen die Farbenringe auch, wenn der Raum zwiſchen beiden Gläſern luftleer iſt. Auch an Seifenblaſen, deren dünne Wände

Digitized by Google

bekanntlich die schönsten Farbenerscheinungen zeigen, hat Newton Beobachtungen angestellt, doch sind diese weniger zuverlässig und bestimmt, weil die Seifenblasen zu vergänglich, und selbst während der Dauer ihres Bestehens veränderlich sind. Newton bediente sich eines planen und eines convexen Glases, in diesem Falle muß der Halbmesser, nach welchem das convexe Glas geschliffen ist (der Halbmesser der Kugel, von deren Oberfläche die gekrümmte Fläche ein Abschnitt ist) sehr groß sein, und das plane Glas muß vollkommen eben und gleichmäßig dick sein. Die Ringe hat Newton mit dem Zirkel gemessen, doch kann man, wie Baumgartner anführt, eine noch größere Genauigkeit erlangen, wenn man die Gläser wie ein Object in ein Mikroskop einsetzt, das mit einem Schraubenmikrometer versehen ist, und mittelst desselben die Messung vornimmt. Auch kann man statt dessen den Apparat in ein Lampen- oder Sonnenmikroskop einsetzen und die stark vergrößerten in durchgelassenem Lichte sichtbaren Ringe mit dem Zirkel messen. Damit diese Ringe sich zeigen, muß man das Glas so stellen, als wollte man das dünne Plättchen ansehen, und vorzüglich das Licht gehörig mäßigen. Sobald die Beleuchtung nur wenig zu stark ist, sieht man keine Spur von einem Ringe. Man muß daher oft (nach Baumgartner) den Beleuchtungsspiegel mit weißem Papier decken und von diesem das Licht auf den Farbenapparat gelangen lassen, oder auch unter diesem Apparat ein Streifchen feinen weißen Papiers anbringen. Directes Sonnenlicht ist, wenn man sich eines gewöhnlichen Mikroskopes bedient, zu stark; am besten eignet sich ein fast düsteres Gemach. Man kann dann auch die reflectirten Ringe sehen, nur muß man die Farbengläser in geneigter Lage gegen die Axe des Rohres an ihren Platz bringen und den für undurchsichtige Objecte bestimmten Beleuchtungsapparat anwenden; die Ringe erscheinen dann aber elliptisch. Die Anzahl der im vollen Lichte erscheinenden Ringe (mit freiem Auge sowohl als mittelst eines Mikroskops) ist immer nur gering, weil die schon etwas größeren sehr schmal sind. Läßt man aber das Licht durch ein dreiseitiges Prisma ins Auge gelangen, so werden die einzelnen Ringe von einander getrennt, und es erscheint eine bedeutende Anzahl derselben. Im einfarbigen Lichte erblickt man mittelst des Mikroskops auch ohne Prisma so viele Ringe als das Gesichtsfeld des Mikroskops zu fassen vermag. (Vergl. auch d. Art. Mikroskop.)

Die beiden Oberflächen des Convexglases, dessen Newton sich bediente, waren gleich stark gekrümmt, beide Abschnitte einer Kugel, deren Halbmesser 51 engl. Fuß war. Newton bestimmt die Ordnung der Farben, aus denen die (unter einander durch dunkle Ringe getrennten) Ringe bestanden, mit folgenden Worten nach seinen Beobachtungen: „Nach dem durchsichtigen Fleck in der Mitte, der sich am Berührungspunkte beider Gläser bildete, kam Blau, Weiß, Gelb und Roth. Des Blau's war so wenig vorhanden, daß ich es in den durch die Prismen hervorgebrachten Ringen nicht zu unterscheiden vermochte; eben so wenig konnte ich Violett darin erkennen; das Gelb und Roth aber waren ziemlich reichlich vorhanden, und sie nahmen zusammen ungefähr so viel Platz als das Weiß und vier bis fünfmal so viel als das Blau

ein. Unmittelbar auf diese erste Reihe folgte eine andere, worin man Violett, Blau, Grün, Gelb und Roth unterschied. Alle diese Farben waren reichlich und lebhaft, ausgenommen das Grün, welches nur in sehr geringer Quantität vorhanden war und weit blasser und schwächer als die übrigen erschien. Das Violett nahm weniger Raum ein, als jede der vier andern Farben, und das Blau weniger, als das Gelb und Roth. Die dritte Farbenreihe war Purpur, Blau, Grün, Gelb und Roth: der Purpur erschien hier röthlicher als das Violett der vorigen Reihe und das Grün zeigte sich weit sichtbarer, indem es eben so lebhaft und in eben so großer Quantität vorhanden war, als jede der andern Farben, das Gelb ausgenommen; das Roth aber fing an, etwas unscheinbar zu werden, indem es sich ausnehmend in das Purpurfarbene zog. Hierauf folgte die vierte Reihe, bestehend aus Grün und Roth; das Grün war sehr reichlich und lebhaft und zog sich auf der einen Seite ins Blau, auf der andern ins Gelb; aber weder Violett, noch Blau, noch Gelb war in dieser Reihe vorhanden, und das Roth erschien unvollkommen. Die Farben, welche auf diese folgten, wurden immer schwächer und unentschiedener, bis sie nach drei- bis viermaliger Wiederkehr allmählig in Weiß übergingen. In Fig. 141. sind durch die Folge der Buchstaben des Alphabets die verschiedenen Plätze angegeben, welche sämmtliche Farben einnahmen, wenn die Gläser gegen einander gedrückt wurden, so daß sie alle zugleich mit dem schwarzen Fleck in ihrer Mitte erschienen. In diesem Fall war ihre Reihenfolge von dieser Mitte aus folgende: Schwarz, Blau, Weiß, Gelb, Roth; Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth; Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth; Grün, Roth; Grünlichblau, roth; Grünlichblau, blaßroth; Grünlichblau, röthlichweiß.“ Jede dieser Folgen von Farben bildet einen zusammengesetzten Ring, eine Ordnung, die Ringe der verschiedenen Ordnungen scheiden sich durch Dunklerwerden der Farben von einander ab.

Bei der angestellten Messung der einzelnen Farbenringe muß in Betracht gezogen werden, daß der Grund der Entstehung der Farbenringe in dem zwischen den Gläsern befindlichen dünnen Plättchen Luft, Wasser ꝛc. liege, daß also jeder ins Auge gelangende Farbenstrahl durch das obere Glas gegangen, folglich durch dieses eine Brechung erlitten haben muß. Durch die Messung mittelst eines Cirkels oder des Schraubenmikrometers erfährt man folglich nicht den wahren Durchmesser eines Ringes, sondern um diesen zu erfahren, muß wegen der Brechung durch das Glas an der unmittelbar gemessenen Größenbestimmung eine Correctur angebracht werden. Bezeichnen wir den scheinbaren, durch Messung gefundenen Halbmesser eines Farbenringes mit r', mit c die Dicke des oberen Glases, mit a die Entfernung des beobachtenden Auges vom oberen Glase, endlich mit n den Exponenten des Brechungsverhältnisses, so wird der wahre Durchmesser des Farbenringes r gefunden durch Berechnung der Formel

$$r = r' \left(1 + \frac{c}{a\,n}\right).$$

Es ist hierbei zu bemerken, daß, so lange bei demselben Glase das Auge seinen Platz nicht verändert, die scheinbaren Durchmesser der Ringe dieselben Gesetze wie die wahren befolgen.

Newton hat gefunden, daß die Quadrate der Halbmesser der hellsten reflectirten farbigen Kreise wie die ungeraden Zahlen wachsen, (vergl. d. Art. Anwandlungen); hieraus folgt, wie die Rechnung lehrt, daß auch die Dicken der Stellen im dünnen Plättchen, wo diese Farbenkreise entstehen, wie die ungeraden Zahlen zunehmen. *) Hiervon ist dann eine natürliche Folge, daß diese Ringe immer näher an einanderrücken, je weiter sie sich vom Mittelpunkte entfernen, denn die Quadratwurzeln der ungeraden Zahlen, welche den Durchmessern dieser Ringe proportional sind, bilden eine Reihe, deren Differenz desto kleiner wird, je größer die Zahlen sind. Zu Veranschaulichung diene folgendes Beispiel.

Quadrate der Durchmesser	Durchmesser	Differenz
1	1,00000	
3	1,73205	0,73205
5	2,23607	0,50402
7	2,64575	0,40968
9	3,00000	0,35425
11	3,31663	0,31663
13	3,60555	0,28892
15	3,87298	0,26743

Newton bediente sich bei seinen Beobachtungen zu Auffindung der absoluten Größe der Dicke der einzelnen Ringe einer Convexlinse von 83,4 Z. Brennweite aus einer Glasmasse, deren Brechungsverhältniß $\frac{17}{11}$ war, und deren Dicke $\frac{1}{7}$ Z. betrug. Diese Linse lag auf einem Planglase und während sein Auge fast senkrecht darüber in einem verticalen Abstande von 8—9 (also etwa $8\frac{1}{2}$) Zoll sich befand, maß Newton den fünften dunkeln Ring an seiner dunkelsten Stelle. Er fand den Durchmesser desselben $\frac{1}{7}$ Zoll. Der Halbmesser von der Linse aus der Brennweite berechnet war 91 Zoll. Nach der oben angegebenen Formel $r = r'\left(1+\frac{c}{an}\right)$ findet sich nun, da angegebener Massen

$r' = \frac{1}{10}$ Z. $c = \frac{1}{6}$ Z. $a = 8\frac{1}{2}$ Z. und $n = \frac{17}{11}$ ist;

$$r = \frac{1}{10}\left(1 + \frac{\frac{1}{6}}{8\frac{1}{2}\cdot\frac{17}{11}}\right) = \frac{1}{10}\left(1 + \frac{1}{79}\right) = \frac{8}{79}\text{ Z.}$$

*) Ebenso müssen auch, da die Quadrate der Halbmesser der dunkeln Ringe wie die Reihe der geraden Zahlen wachsen, die diesen Ringen entsprechenden Dicken des Luftplättchens wie diese Zahlen zunehmen.

Digitized by Google

Wenn nun ein convexes Glas auf ein ebenes gelegt wird, so ist die Dicke der Luftschicht oder der Abstand der Gläser im Umkreise irgend eines Ringes gleich dem Quadrate des halben Durchmessers des Ringes, dividirt durch den Durchmesser der Kugel, nach welcher das Glas gearbeitet worden ist. Dieß ergibt sich durch mathematische Herleitung. Wird diese Regel auf den gegenwärtigen Fall angewendet, so ist, da der halbe Durchmesser des fünften dunkeln Ringes $= \frac{8}{79}$ Z. ist, sein Quadrat $\frac{64}{6241}$, welches, durch 182 als der Größe des Durchmessers der Kugel, nach der die Linse gearbeitet ist (oben war ihr Halbmesser $= 91$ Z. angegeben), dividirt, $\frac{64}{6241.\ 182} = \frac{64}{1135862}$ Theile eines Zolles gibt, ein Bruch, der durch Reduction auf $\frac{1}{17747,84}$ Theile eines Zolles zurückkommt. Die Beobachtung hatte nun vorher gelehrt (s. oben Anm. und den Art. Anwandlungen), daß die Dicken der Luftschicht in den Umfängen der verschiedenen dunkeln Ringe der Progression 0, 2, 4, 6, 8, 10. . . . . folgen, wo der fünfte durch 10 und der Mittelfleck durch 0 ausgedrückt ist. Hieraus sieht man, daß, wenn man den fünften Theil von der Dicke, welche die Luftschicht an der Stelle des 5ten Ringes hat, wo sie 10 ist, nimmt, man die Dicke an der Stelle des ersten Ringes erhält, wo sie $= 2$ ist. Folglich ist $\frac{1}{5.17747,84} = \frac{1}{88739}$ eines Zolles die Dicke der Luftschicht im Umfange des ersten der dunklen Ringe. Eine zweite genaue Messung gab Newton die Dicke des ersten dunklen Ringes $= \frac{1}{88850}$.

Bei diesen Messungen befand sich das beobachtende Auge zwar sehr nahe an der verticalen Linie über der Linse, aber doch nicht genau in dieser, und es konnte daher der Ring nicht in seiner wirklichen Größe erscheinen, indem die scheinbare Größe von dem Winkel abhängt, unter welchem die in's Auge gelangenden Strahlen reflectirt werden. Nach Newtons Angabe betrug bei der von ihm angestellten Messung dieser Winkel etwa 4 Grad. Um nun aus der angegebenen Messung die Größe des Ringes bei einer vollkommen senkrechten Stellung des Auges ableiten zu können, mußte Newton den Einfluß der Schiefe der Gesichtsstrahlen überhaupt kennen lernen, und darum mehre Messungen desselben Ringes bei einer verschiedenen Lage des Auges vornehmen. So erhielt er nachstehende Resultate:

Einfallswinkel an der zweiten Glasfläche.		Austrittswinkel in die Luft.	Durchmesser des Ringes.	Dicke der Luftschicht.
0°	0′	0°	10	10
6	26	10	$10\frac{1}{17}$	$10\frac{2}{17}$
12	45	20	$10\frac{1}{4}$	$10\frac{3}{4}$
18	49	30	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{4}$
24	30	40	$11\frac{2}{7}$	13
29	37	50	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33	58	60	14	20
35	47	65	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37	19	70	$16\frac{1}{7}$	$28\frac{1}{4}$
38	33	75	$19\frac{1}{4}$	37
39	27	80	$22\frac{5}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40	00	85	29	$84\frac{1}{16}$
40	11	90	35	$122\frac{1}{2}$

In dieser Tabelle drückt die dritte Spalte die Durchmesser aus, welche derselbe Ring enthält, je nachdem er unter verschiedenen Schiefen erblickt wird, wobei sein Durchmesser bei dem senkrechten Einfallen durch 10 dargestellt ist; die vierte Spalte, welche die Quadrate der dritten, durch 10 dividirt enthält, gibt die Dicken der Luftschicht an, von welcher successiv dieser nämliche Ring unter den verschiedenen Schiefen zurückgeworfen wird, wenn man 10 für die Dicke setzt, in welcher er bei dem senkrechten Einfallen durch Zurückwerfung erscheint. Diese Tabelle gilt für alle Ringe gemeinschaftlich, welches auch ihr Abstand vom Mittelflecke sein mag, denn vermöge einer sehr bemerkenswerthen Eigenschaft ist das Verhältniß, nach welchem der Durchmesser jedes Ringes wächst, unabhängig von der Stelle, die er in der Reihenfolge einnimmt, so wie von der Farbe, die er zurückwirft. Aus der Tabelle erhellet, daß die Dicke, von welcher die nämliche Farbe zurückgeworfen wird, immer mehr mit der Schiefe der einfallenden Strahlen zunimmt, mithin, wenn man einen und denselben Punkt der Luftschicht successiv unter verschiedenen Schiefen betrachtet, wird dieser Punkt durch solche Farben schreiten, welche vorher von geringeren Dicken zurückgeworfen waren. Man kann sonach sagen, daß durch schieferes Einfallen der Strahlen auf die Luftschicht dieselbe Wirkung hervorgebracht wird, als wenn diese Schicht dünner würde.

Oben wurde die beobachtete Dicke der Luftschicht an der Stelle des ersten dunkeln Ringes nach einer ersten Beobachtung $= \frac{1}{88739}$, nach einer zweiten Messung $= \frac{1}{88850}$ angegeben, diese Beobachtungen aber wurden wie gesagt, bei nicht völlig senkrechter Stellung des Auges über der Linse gemacht; um nun diese Dicken auf den Fall des senkrechten Einfalls der Strahlen zurückzuführen, genügt es die gefundenen Grö-

ßenbestimmungen mit $\frac{10000}{10024}$ zu multipliciren, und man erhält als corrigirte Werthe der ersten Messung $\frac{1}{88952}$, der zweiten $\frac{1}{89063}$, als Mittel folglich $\frac{1}{89000}$, bei welcher Bestimmung denn auch Newton stehen geblieben ist. Der erste dunkle Ring wird, wie bekannt, durch 2 ausgedrückt, und diesem in seiner dunkelsten Stelle entspricht der angegebene Werth; der erste lichte Ring in seiner hellsten Stelle hat zum Ausdrucke 1, man findet also die Dicke der Luftschicht an der glänzendsten Stelle des ersten hellen Ringes, wenn man die Hälfte von $\frac{1}{89000}$ nimmt, welche folglich $\frac{1}{178000}$ beträgt. Da nun im Allgemeinen die Dicken der Luftschicht an den glänzendsten Stellen der farbigen Ringe die arithmetische Progression 1, 3, 5, 7, 9 . . . . befolgen, während die Dicken dieser nämlichen Schicht an den dunkelsten Stellen der dunklen Ringe nach der dazwischenfallenden Reihe 2, 4, 6, 8, 10 . . . fortgehen, so ist klar, daß wenn die Dicke des ersten dieser Ringe bekannt ist, damit zugleich die den übrigen entsprechenden Dicken gegeben sind, so daß die verschiedenen Werthe dieser Dicken, in Bruchtheilen des englischen Zolles ausgedrückt, sein werden.

Für die hellsten Stellen der farbigen reflectirten Ringe:

$\frac{1}{178000}, \frac{3}{178000}, \frac{5}{178000}, \frac{7}{178000}$ u. s. w.

für die dunkelen Ringe:

$\frac{2}{178000}, \frac{4}{178000}, \frac{6}{178000}, \frac{8}{178000}$ u. s. w.

Da den reflectirten hellen Ringen die dunkeln im durchgelassenen Lichte, und umgekehrt, den dunkeln im reflectirten Lichte die farbigen im durchgelassenen entsprechen (s. d. Art. Anwandlungen), so gibt die erstere Reihe zugleich die Dicken für die dunkeln, die zweite Reihe die Dicken für die farbigen Ringe im durchgelassenen Lichte.

Die angegebenen Dicken beziehen sich auf ein Luftplättchen (Luftschicht), für jede andere Flüssigkeit müssen sie im verkehrten Verhältnisse der Brechungsexponenten in dieser Flüssigkeit und der Luft vermindert werden. *)

Die nachstehende Tabelle gibt die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Millionstheilchen eines englischen Zolles für die reflectirten Strahlen nach der Ordnung, wie sie im vollen Lichte erscheinen.

---

*) S. d. Art. Brechung.

Digitized by Google

Ordnungszahl des Ringes.	Zurückgeworfene Farben.	Dicke der Schichten in Millionentheilen des englischen Zolls. Luft.	Wasser.	Glas.	Bezeichnung der Farben.
	Sehr schwarz	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{34}$	
	Schwarz	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$	
	Anfang des Schwarz	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{3}$	
1ster	Blau	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$	Weißliches Himmelblau.
	Weiß	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{3}$	Mattes Silberweiß.
	Gelb	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{7}{11}$	Strohgelb.
	Orange	8	6	$5\frac{1}{5}$	Getrockn. Orangenschale.
	Roth	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{3}{7}$	Geraniumsanguineum.
	Violet	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{3}$	Jodine.
	Indigo	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{1}{8}$	$8\frac{2}{11}$	Indigo.
	Blau	14	$10\frac{1}{2}$	9	Kobaltblau.
	Grün	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$	Meergrün.
2ter	Gelb	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{3}$	Citrongelb.
	Orange	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$	Orange.
	Glänzendes Roth (rouge éclatant)	$18\frac{1}{7}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$	(oeillets de mai).
	Ponceauroth	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{1}{4}$	$12\frac{2}{3}$	Blutroth.
	Purpur	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$	Flachsblüthe(fleur du lin).
	Indigo	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{3}{4}$	$14\frac{1}{4}$	Indigo.
	Blau	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$	Berlinerblau.
3ter	Grün	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$	Grasgrün.
	Gelb	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$	Weißlichgelb; Holzweiß.
	Roth	29	$21\frac{3}{4}$	$16\frac{5}{7}$	Rosenroth.
	Bläulichroth	32	24	$20\frac{2}{3}$	Mehr Purpurroth.
	Bläulichgrün	34	$25\frac{1}{2}$	22	
4ter	Grün	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$	Smaragdgrün.
	Gelblichgrün	36	27	$23\frac{2}{9}$	
	Roth	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26	Blaßroth.
5ter	Grünlichblau	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$	Meergrün.
	Roth	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{1}{8}$	34	Blaßrosenroth.
6ter	Grünlichblau	$58\frac{3}{4}$	44	38	Lichtes Meergrün.
	Roth	65	$48\frac{3}{4}$	42	Noch blässeres Rosenroth.
7ter	Grünlichblau	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{7}$	Sehr blaß.
	Röthlichweiß	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$	Sehr blaß.

Die in Newtonschen Farbenringen erscheinenden verschiedenen Farben sind die Mischungsfarben aus den verschieden übereinanderfallenden einfarbigen Farbenringen, welche man erhält, wenn man nicht weißes, sondern einfarbiges Licht auf den Newtonschen Apparat (des dünnen Plättchens Luft ꝛc. zwischen zwei Gläsern) fallen läßt. Newton zerlegte einen Strahl weißen Lichtes durch das Prisma in seine verschie-

Digitized by Google

denen einfarbigen Strahlen, ließ sie nach einander auf ein Blatt weißen Papieres fallen, welches sie durch strahlende Zurückwerfung nach allen Seiten zurücksendete, und brachte sein Auge in eine solche Lage, daß er das gefärbte Papier durch Zurückwerfung von den Gläsern und der dazwischen befindlichen Luftschicht zu erblicken vermochte. Die allgemeinen Ergebnisse der Beobachtungen Newton's an den dunkelen und hellen Ringen durch einfarbiges Licht sind im Art. Anwandlungen angeführt. Aber auch genaue Messungen dieser Ringe stellte Newton an, welche bemerkungswerthe Resultate gaben, und es ist klar, daß man, nachdem man aufs genaueste die Ausmessungen der Ringe bei einfarbigem Lichte kennen gelernt hat, man hieraus auch die Farbenerscheinungen, welche durch das auf dünne Plättchen fallende weiße (alle Farben enthaltende) Licht erzeugt werden, auf das vollständigste wird berechnen und erklären können.

Newton maß die Durchmesser der einfachen Ringe der nämlichen Ordnung am innern und äußeren Theile ihres Umfanges, indem er diese Ringe successiv durch Strahlen, welche an den Grenzen der verschiedenen Farben im Spectrum (prismatischen Sonnenbilde) liegen, hervorbrachte, mit den äußersten violetten den Anfang machend, d. h. er brachte erst bloß durch die äußersten violetten Strahlen Ringe hervor, und wenn er dann von diesen z. B. den dritten gemessen hatte, so maß er dann auch den dritten der Ringe, welche er durch die äußersten indigfarbenen Strahlen hervorgebracht hatte u. s. f. Hierbei fand er nun (wobei jedoch seine Vorliebe, Farben und Töne mit einander zu vergleichen, nicht ohne Einfluß auf die, ohnehin keine absolute Genauigkeit zulassende, Messung sein mochte), daß die Durchmesser, sowohl innere als äußere, unter einander sich zu verhalten schienen, wie die Cubicwurzeln der Zahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{9}{10}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$, 1, welche Zahlen die Längen ausdrücken, die eine Musikſaite haben muß, um die Töne der Molltonleiter hervorzubringen; d. h., wenn man durch 1 den inneren Durchmesser eines gewissen Ringes ausdrückt, der durch die an den äußersten Grenzen des Spectrums liegenden rothen Strahlen hervorgebracht wird, so drückt $\sqrt[3]{\frac{8}{9}}$ den innern Durchmesser des nämlichen Ringes aus, wenn er von den Strahlen gebildet wird, welche die Grenze des Roth und Orange sind u. s. f. bis $\sqrt[3]{\frac{1}{2}}$, welches den inneren Durchmesser des nämlichen Ringes ausdrückt, wenn er durch die letzten violetten am anderen Ende des Spectrums genommenen Strahlen gebildet wird.

Um nun ferner die Verhältnisse der Dicken, welche die Luftschicht (das Luftplättchen) am Anfang und am Ende der beobachteten Ringe haben mußte, kennen zu lernen, brauchte Newton nur die ihm bekannten Verhältnisse der Durchmesser ins Quadrat zu erheben; da die Dicken den Quadraten der Durchmesser proportional sind (s. oben). Aehnliche Messungen an den auf einander folgenden Ringen, welche von einer und derselben einfachen Farbe hervorgebracht waren, vorgenommen, zeigten Newton, daß in den Zwischenräumen, wo die Zurückwerfung

erfolgte, die Dicke sich merklich um eben so viel abstufte, als in denen, wo das Licht durchging, so daß, wenn man allgemein durch e_x die Dicke der Luftschicht zu Anfang des ersten hellen, von irgend einer Art einfachen Lichtes gebildeten, Ringes bezeichnet, dieser Ring in der Dichte $3e_x$ endigte, und somit einen Zwischenraum einnahm, in dem sich die Dicke um $2e_x$ abstufte; worauf der erste dunkle Ring kam, der ebenfalls einen Zwischenraum einnahm, in dem sich die Dicke um $2e_x$ abstufte. Ihm folgte der zweite helle Ring, der in der Dicke $2e_x$ anfing und in der Dicke $5e_x$ endigte u. s. f. Verbindet man dieß Gesetz, durch welches den Ringen ihre Stellen in der Aufeinanderfolge bestimmt werden mit dem, nach welchem die Vertheilung der verschiedenen Farben in den Ringen von derselben Ordnung statthat, so ist man in Stand gesetzt, wenn man nur irgend eine einzige absolute Dicke zu Anfang, in der Mitte oder am Ende irgend eines, von einer gewissen einfachen Farbe gebildeten Ringes gemessen hat, den Werth der ersten Dicke e_x für diese Farbe, so wie für alle andern zu berechnen, und dann die Grenzdicken $3e_x$, $5e_x$, $7e_x$... für Ringe von jeder beliebigen Stelle daraus herzuleiten. Hierzu kann man sich nun des sehr genauen Werthes bedienen, den Newton für die Dicke fand, welche die Luftschicht der Mitte des ersten hellen, von denen zwischen Orange und Gelb liegenden Strahlen hervorgebrachten Ringes hatte; welche Dicke $= \frac{1}{178000}$ engl. Zoll oder $= \frac{1000}{178}$, wenn man den Millionstheil eines engl. Zolles als Einheit nimmt. Dieß wird der Werth von $2e_x$ für diese Farbe sein; und folglich wird $e_x = \frac{500}{178} = 2{,}80899$ sein. Auf dieses Grundresultat, verbunden mit den zwischen den verschiedenen Farben aufgefundenen Verhältnissen ist folgende Tabelle gegründet, worin durch e_n und E_n respectiv die Dicken bezeichnet sind, in welchen der Ring der $n$ten Stelle anfängt und endigt.

Digitized by Google

Tabelle

über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Millionentheilen eines englischen Zolls.

Allgemeine Ausdrücke der Dicken e_n, E_n, in welchen jeder Ring von der Ordnung n anfängt und aufhört.	Aeußerstes Violett.	Grenze des Violett u. Indigo.	Grenze des Indigo u. Blau.	Grenze des Blau u. Grün.	Grenze des Grün u. Gelb.	Grenze des Gelb u. Orange.	Grenze des Orange u. Roth.	Aeußerstes Roth.
1ster Ring e_1	1,99849	3,16154	2,25671	2,42071	2,61866	2,80899	2,93207	3,172206
$E_1 = 3e_1$	5,99547	6,48462	6,77013	7,26213	7,85598	8,42697	8,79621	9,516618
2ter Ring $e_2 = 5e_1$	9,99245	10,80770	11,28355	12,10355	13,09330	14,04495	14,66035	15,861030
$E_2 = 7e_1$	13,98943	15,13078	15,79697	16,94497	18,33062	19,66293	20,52449	22,205442
3ter Ring $e_3 = 9e_1$	17,98641	19,45386	20,31039	21,78639	23,56794	25,28091	26,38863	28,549854
$E_3 = 11e_1$	21,98339	23,77694	24,82381	26,62781	28,80526	30,89889	32,25277	34,894266
4ter Ring $e_4 = 13e_1$	25,98037	28,10002	29,33723	31,46923	34,04258	36,51687	38,11691	41,238678
$E_4 = 15e_1$	29,97735	32,42310	33,85065	36,31065	39,27990	42,13485	43,98105	47,583090
5ter Ring $e_5 = 17e_1$	32,97433	36,74618	38,36107	41,15207	44,51722	47,75283	49,84519	53,927502
$E_5 = 19e_1$	37,97131	41,06926	42,87749	45,99349	49,75454	53,37081	55,70923	60,271914
6ter Ring $e_6 = 21e_1$	41,96829	45,39234	47,39091	50,83491	54,99186	58,98879	61,57347	66,616326
$E_6 = 23e_1$	45,96527	49,71542	51,90433	55,67633	60,22918	64,60677	67,43761	72,960738
7ter Ring $e_7 = 25e_1$	49,96225	54,03850	56,41775	60,51775	65,46650	70,22475	73,30175	79,305150
$E_7 = 27e_1$	53,95923	58,36158	60,93117	65,35917	70,70382	75,84273	79,16589	85,649562

Digitized by Google

Die Resultate dieser Tabelle lassen sich mittelst einer geometrischen Construction darstellen, welche ihre Ueberschauung mit einem einzigen Blicke gestattet. Wir setzen sie hier so auseinander, wie sie Newton gegeben hat. *)

Bemerken wir zuvörderst, daß die Folge der Größen e_1, E_1, e_2, E_2, e_3, E_3...., für jede Farbe eine arithmetische Progression e_1, $3e_1$, $5e_1$, $7e_1$... bildet, deren Unterschied $2e_1$ ist und welche der Reihe der ungeraden Zahlen folgt. Um hiefür eine entsprechende geometrische Darstellung zu erhalten, brauchen wir nur eine, ins Unbestimmte ausgedehnte, gerade Linie ZZ', Fig. 142., in eine unbestimmte Zahl unter sich und mit e_1 gleicher Theile zu theilen, darauf die aufeinanderfolgenden Eintheilungspunkte durch die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6 .... zu bezeichnen. Dann werden die Strahlen dieser Farbe von der Dicke 0 an bis zur Dicke $Z1 = e_1$ durchgelassen; von der Dicke Z1 bis zur Dicke Z3 zurückgeworfen, dann von Z3 bis Z5 wieder durchgelassen, und so fort werden sie in der ganzen Ausdehnung der Geraden ZZ' abwechselnd durchgelassen und zurückgeworfen. Das Maximum der Zurückwerfung wird in den Dicken Z2, Z6, Z10.... Statt haben, welche der arithmetischen Progression der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7... folgen, und das Maximum des Durchgehens in den Dicken Z4, Z8, Z12, welche der arithmetischen Progression der geraden Zahlen 0, 2, 4, 6.... folgen, so daß man, um zu erfahren, welche Wirkung irgend eine gegebene und durch ZX vorgestellte Dicke hervorbringt, diese Länge bloß auf die Linie ZZ' von Z an aufzutragen hat, wo dann der Punkt X, an dem sie endet, zu erkennen gibt, ob in ihr Zurückwerfung oder Durchgehen statt findet, und von welcher Ordnung der in ihr entstehende Ring ist.

Diese Construction auf einer einzigen geraden Linie ist aber nur für die Strahlen von einer einzigen Farbe, und zwar nur für diejenigen dieser Farbe, welche einer bestimmten Stelle des Spectrums entsprechen, anwendbar. Um sie allgemein zu machen, braucht man nur in Betracht zu ziehen, daß die Werthe von e_n und von E_n für die verschiedenen Farben, wenn n gleich bleibt, den Werthen von e_1, welche diesen Farben zukommen, proportional sind: sie lassen sich sonach durch die Ordinaten einer geraden Linie vorstellen, von der die e_1 die Abscissen wären. **) Hierauf gründet sich folgende von Newton gegebene Construction.

Auf einer ins Unbestimmte verlängerten Are CZR, Fig. 144., nehme man von einem beliebigen Punkte C an die Abscissen CZ, CV, CI, CB, CGr, CG, CO, CR, proportional den Zahlen 0,6300;

*) Dieses so wie das nächstvorhergehende ist nach Biot's Darstellung wiedergegeben.

**) Wenn eine gerade Linie AB Fig. 143. durch ein System zweier rechtwinklig sich schneidender Linien AC und CB geht, so kann man aus AC und CB bekanntlich AB berechnen; man nennt AC und CB Coordinaten und zwar die eine (CB) die Abscisse, die andere (AC) die Ordinate der Linie AB.

Digitized by Google

0,6814; 0,7114; 0,7631; 0,8255; 0,8855; 0,9243; 1, welche der Erfahrung zufolge die Verhältnisse der verschiedenen Werthe von e_r für die Grenzen der sieben Hauptfarben des Spectrums ausdrücken. Alsdann richte man durch die Endpunkte dieser Abscissen Z, I, ... R, und senkrecht auf die Axe CZR die Ordinaten ZZ', VV', ... RR' in unbestimmter Höhe auf, nehme darauf auf der ersten eine Länge Z1 gleich dem Werth von e_r für die letzten violetten Strahlen des Spectrums, welche ans Schwarz grenzen, trage successiv diesen nämlichen Zwischenraum an die Punkte 2, 3, 4, 5 .... der nämlichen Ordinate und ziehe endlich vom Punkte C die punktirten Linien C1, C3, C5 ..., welche in alle ungeraden Abtheilungen eintreffen. Die Durchschnittspunkte dieser geraden Linien mit den Ordinaten, welche sich auf jede Farbe beziehen, werden die Werthe von e_n und von E_n begrenzen, in welchen die Zurückwerfung dieser Farbe in den Ringen jeder Ordnung anfängt und aufhört. So geben die Räume 11′ 33′ 55′ 77′ ..., welche zwischen C1 und C3, C5 und C7 .... enthalten sind, die Abstufungen der Dicken an, wo eine Zurückwerfung vor sich geht, und die Räume dazwischen, 00′ 11′, 33′ 55′ ... geben die Abstufungen an, wo alles einfallende Licht durchgeht. Die trapezoidischen Vierecke endlich, die in diesen Räumen zwischen den Ordinaten enthalten sind, welche die sieben Abtheilungen des Spectrums begrenzen, geben noch besonders die Abstufungen der Dicke an, welche der Zurückwerfung oder dem Durchgehen aller der Grade einfachen Lichts, die die Empfindung einer und der nämlichen Farbe hervorrufen, angehören. Die Trapeze z. B., welche zwischen den Ordinaten ZZ′ und VV′ enthalten sind, gelten für alle Grade des Violett; die zwischen VV′ und II′ enthaltenen für alle Grade des Indigo u. s. f. Bei diesen geometrischen Grenzbestimmungen ist jedoch eine wichtige Modification noch mit zuziehen.

Nämlich das Durchgehen geschieht vollständig an allen Stellen, die demselben zuertheilt sind, dagegen die Zurückwerfung erst unmerklich an den Grenzen, wo sie beginnt, dann bis zu einem gewissen Maximum zunimmt, für welches die Dicke durch die mittlern Linien 22′, 66′, 10 10′, ... bezeichnet ist, worauf sie eben so stufenweise wieder abnimmt, und selbst in diesen Dicken, wo sie am kräftigsten ist, ist sie nur partiell. Auch müssen wir bemerken, daß die Abstufungen der Dicke, in welchen die Zurückwerfung vor sich geht, sich in der Wirklichkeit immer etwas größer als diejenigen finden, in welchen das Durchlassen statt hat, besonders in den Ringen der ersten Ordnungen. Newton, der diesen Unterschied wohl bemerkte, hielt ihn indeß für zu unbedeutend und für zu wenig einer genauen Schätzung fähig, um ihn in Betracht zu ziehen.

Obwohl wir bei Construction dieser Figur so wie der Tabelle, deren versinnlichende Darstellung sie ist, nur die Zurückwerfung der Farben durch dünne Luftschichten im Auge gehabt haben, so ist doch sowohl die eine als die andere auch auf Schichten von jedweder andern Beschaffenheit anwendbar, indem sich die Farbenringe in allen Substanzen nach den nämlichen Gesetzen bilden. Die Veränderung trifft bloß die

Digitized by Google

absoluten Werthe der Dicken e_1, in welchen sie sich bilden und welche um so geringer sind, je stärker das Brechungsvermögen der Substanz ist. Mit Zuziehung dieser einzigen Modification können wir sonach den Folgerungen, welche sich aus unsrer Construction ziehen lassen, allgemeine Gültigkeit beimessen.

Mit Hülfe derselben läßt sich sofort finden, ob diese oder jene Farbe von einer gewissen Dicke zurückgeworfen oder durchgelassen wird; denn stellen wir diese Dicke durch ZX vor, so brauchen wir sie nur auf die Ordinate ZZ′ aufzutragen, darauf durch den Punkt X, wo sie sich endigt, eine Linie XX′ mit der Axe CZR parallel zu ziehen und endlich zu untersuchen, ob diese Parallele durch einen der Räume hindurchgeht, welche das Durchlassen oder die Zurückwerfung der gegebenen Farben andeuten. Eben so, um zu erfahren, welche Arten Farben in dieser Dicke ZX durchgelassen oder zurückgeworfen zu werden vermögen, braucht man nur zu beobachten, ob Theile dieser Linie irgendwo durch einen der Räume 00′, 11′, 33′ 55′... wo Durchlassen stattfindet, hindurchgehen, indem diese Theile wirklich das Durchlassen der ihnen zugehörigen Farben andeuten werden; dagegen werden die Theile, welche durch die dazwischenliegenden Räume 11′ 33′ 55′ 77′.... hindurchgehen, auf eine stattfindende Zurückwerfung deuten, welche um so reichlicher für jeden Durchschnitt sein wird, je näher die Linie XX′ diese Räume an ihrer Mitte durchschneidet, wo die mittlern Linien 22′, 66′, 10 10′..., u. s. w. durch sie hindurchgehen. Gesetzt z. B. man verlange zu wissen, welche Art Grün durch Zurückwerfung im dritten Ringe an der Stelle erscheinen wird, wo die Zurückwerfung dieser Farbe am lebhaftesten ist, so markire man auf der Querlinie 10, 10′ die Mitte des Quadrats, welches dem Grün angehört, und ziehe durch diesen Punkt eine Linie v′mv parallel mit CZR. Man wird finden, daß sie durch das untere Ende des Raumes, welcher dem Gelb angehört, und das obere Ende des Raumes, welcher dem Blau in diesem nämlichen Ringe anheimfällt, hingeht. Den ganzen übrigen Theil ihres Laufs aber wird die Linie v′mv durch Räume nehmen, in welchen Durchlassen stattfindet, woraus man zu schließen hat, daß die Art Grün, welche von dieser Dicke zurückgeworfen wird, hauptsächlich aus einfachem Grün, vermischt mit etwas Blau und Gelb, besteht, was noch ein sehr gutes Grün gibt.

Biot zeigt noch weiter auf, wie diese Figur ein sehr gutes Hülfsmittel zur Erklärung aller einzelnen Umstände gewähre, welche bei Erscheinung der Farbenringe in Betracht kommen, die das natürliche Licht hervorbringt, wenn es durch eine dünne Schicht von Luft oder irgend einer anderen Substanz zurückgeworfen wird.

Die Reihenfolge der Ringe, ihre Anordnung, die Beschaffenheit ihrer Farben folgt in allen Arten dünner Schichten stets den nämlichen Gesetzen. Der Unterschied, welcher in den hierhergehörigen Erscheinungen stattfindet, betrifft nur die absolute Größe der Dicken, in welchen sich die Ringe bilden, und das mehr oder minder schnelle Fortschreiten der Veränderungen, welche sie bei Veränderungen der Schiefe des Einfallens der Lichtstrahlen erfahren. Man beobachtet die Farbenringe an

Digitized by Google

Seifenblasen, dünnen Glasblättchen, welche man durch Blasen des Glases an der Lampe bis zum Zerspringen hervorbringt, und an Glimmerblättchen, welche man bis zu einem hohen Grade der Dünnheit gebracht hat. Legt man solche Blättchen horizontal über einen schwarzen Grund und beobachtet daran die Zurückwerfung des weißen Lichtes der Wolken unter verschiedenen Einfallswinkeln, indem man das Auge erhebt oder senkt, so findet man ebenfalls, daß ihre Farben sich ändern, und zwar in der nämlichen Art sich ändern, als man die der dünnen Luftschichten sich ändern sieht, wenn man die Folge der Ringe beobachtet, welche successiv in eine und dieselbe Entfernung vom Mittelfleck, mithin in dieselbe Dicke gelangen. Das Fortschreiten und der Umfang der Farbenveränderungen wird aber desto geringer, je stärker das Brechungsvermögen des betreffenden Körpers ist. Wenn man Stahl oder Kupfer an der Luft erhitzt, so überziehen sich dieselben mit einer dünnen Oxydschicht, welche bei gehöriger Dünne ebenfalls Farben zeigen, und zwar ändert sich die Farbe mit der Dicke der Oxydschicht; auch unter dem Einflusse des Galvanismus erhält man diese Oxydschichten auf den Metallen.

Die oben S. 391 angegebene Tabelle dient dazu, die Dicke einer dünnen Schicht aus der Farbe, welche sie bei senkrechtem Einfallen zurückwirft, zu bestimmen, wenn ihr Brechungsverhältniß bekannt ist. Ist nämlich diese Farbe gegeben, so findet sich in der Tabelle die entsprechende Dicke, in der sie zurückgeworfen wird, für eine Luftschicht bestimmt, und diese Dicke mit dem Brechungsverhältniß der betrachteten Schicht dividirt, gibt die Dicke dieser. Das Brechungsverhältniß des Glimmers z. B. ist 1,53, das der Luft = 1 angenommen. Man löse nun ein Blättchen dieser Substanz ab, welches so dünn ist, daß es bei senkrechtem Einfallen das Blau der dritten Ordnung zurückwirft. Die Dicke der Luftschicht, welche dieses Blau ebenfalls zurückwerfen würde, ist nach Newton's Tabelle 23,4; die des Glimmerblättchens wird folglich $\frac{23,4}{1,53} = 15,3 = 153$ Zehnmilliontheile eines engl. Zolles sein. Da Newton auch die Gesetze entdeckt hat, nach denen die Veränderung der Farben bei verschiedenem Einfallswinkel erfolgt, so kann man auch zugleich das Brechungsverhältniß und die Dicke dünner Blättchen bestimmen, wenn man die Farben beobachtet hat, welche unter zwei bekannten Einfallswinkeln davon zurückgeworfen werden.

Indem ich in Bezug einer Anzahl von Farbenstreifen und Farbenringen auf die Artikel Beugung und Polarisirung des Lichtes verweise, will ich hier nur noch zwei Beobachtungen wiedererzählen, welche man ebenfalls auf die Lehre von den Anwandlungen bezogen hat.

Bei dem Verfolge über die Farben dünner Körper fand Newton, daß auch dergleichen durch Scheiben von beträchtlicher Dicke, welche sich in mehre dünne theilen lassen, hervorgebracht wurden. Er ließ durch ein Loch $\frac{1}{3}$ Zoll im Durchmesser in ein verfinstertes Zimmer einen Lichtstrahl senkrecht auf einen gläsernen Spiegel fallen, welcher auf der einen Seite hohl und auf der andern erhaben war. Die Kugel, aus welcher dieser Spiegel geschliffen war, hatte im Halbmes-

Digitized by Google

ser 5 Fuß 11 Zoll, und auf der erhabenen Seite eine Belegung von Queckſilber. Hierauf hielt er einen Bogen weißes Papier in den Mittelpunkt der Kugelflächen, die den Spiegel ausmachten, oder etwa 5 Fuß 11 Zoll vom Spiegel ſo, daß der Lichtſtrahl durch ein kleines Loch im Papier ging, und von dem Spiegel zurück auf daſſelbe wieder geworfen wurde. Auf dieſem Papiere beobachtete er 4 oder 5 concentriſche farbige Ringe wie Regenbogenfarben um das Loch herum, welche den Farben dünner Scheibchen ähnlich, aber breiter und matter waren. Der fünfte Ring war kaum ſichtbar, bei hellem Sonnenſcheine aber zeigten ſich noch einige ſchwache Spuren eines ſechsten und ſiebenten. In der Mitte dieſer Ringe war ein weißer, runder und ſchwach erleuchteter Flecken, welcher etwas breiter als der zurückgeworfene Lichtſtrahl war. Die Durchmeſſer dieſer Ringe fand er ebenfalls in dem Verhältniſſe wie an dem Objectivgläſern. Wegen dieſer Uebereinſtimmung glaubte er, daß die Farben auf der dicken Glasſcheibe faſt auf eben die Art, wie die an den ſehr dünnen Scheibchen entſtänden. Denn nachdem er das Queckſilber abgerieben hatte, fand er, daß das bloße Glas eben ſolche Ringe, nur weit matter erzeugte, und daß alſo das Queckſilber dieſe Erſcheinungen nicht verurſachte. Ein metallener Spiegel brachte keine ſolche farbigen Ringe zu Wege, und daraus ſchloß er, daß ſie nicht von einer einzigen Spiegelfläche herrührten, ſondern von beiden Oberflächen der zum Spiegel gebrauchten Glasſcheibe und der Dicke derſelben abhingen. Hierauf maß er die Dicke des Glaſes, welches er zum Spiegel gebrauchte, und fand, daß ſie genau $\frac{1}{4}$ Zoll betrug. Durch die hierüber angeſtellte Rechnung beſtätigte er ſeine Theorie, und verſicherte ſich, daß die abwechſelnden Anwandlungen des leichtern Zurückgehens oder Durchgehens auf große Entfernungen von jeder zurückwerfenden oder brechenden Fläche fortgepflanzet wurden.

Brewſter bemerkte die Entſtehung von Farbenſtreifen bei Beobachtung der Zurückwerfung des Lichtes von Parallelgläſern, die wenig gegen einander geneigt waren; und gibt folgende Beſchreibung.

Um dieſe Erſcheinung am beſten zu beobachten, möge das Licht eines erleuchteten Kreiſes, der unter 1 bis 2 Grad Sehewinkel erſcheint, beinahe ſenkrecht auf zwei Platten von Gläſern mit parallelen Oberflächen fallen, die 0,1 Zoll von einander entfernt ſind. Man laſſe eine der Platten einige Neigung gegen die andere annehmen, bis eines oder mehre der zurückgeworfenen Bilder deutlich ſich darſtellen, getrennt von dem durch durchgelaſſenes Licht hervorgebrachten hellen Bilde, welche das hinter den Platten ſtehende Auge empfängt. Unter dieſen Umſtänden zeigt ſich das reflectirte Bild durchkreuzt von 15 oder 16 ſchönen parallelen Streifen; die drei Centralſtreifen ſind ſchwärzlich und weißlich, die äußeren ſind glänzend grün und roth; die Centralſtreifen haben daſſelbe Anſehen in Vergleichung gegen die äußern. Wenn man die Glasplatten ſo dreht, daß ihre Ebene ſenkrecht gegen den einfallenden Strahl bleibt, ſo bewegen ſich die reflectirten Bilder um das helle Bild, und die Farbenſtreifen bleiben immer ſenkrecht gegen die Linie, welche die Mittelpunkte des hellen und des reflectirten Bildes verbindet. Bei verminderter Neigung wächſt die Breite der Farbenſtreifen. Fällt

Digitized by Google

das Licht von jenem Gegenstande schief auf die Platten, so sieht man keine Farbenstreifen, wenn die Einfallsebene senkrecht auf die Durchschnittslinie beider Platten ist; ist dagegen die Einfallsebene parallel mit dieser Durchschnittslinie, so zeigen sich die Bilder heller und die Farbenstreifen lebhafter, wenn der Strahl schiefer auffällt.

Fernrohr, Teleskop (v. d. griech. *τέλος* Ende und *σκοπέω* sehen) ein Instrument, welches gewöhnlich aus einer Röhre, in der zwei oder mehre Linsen so befestigt sind, daß ihre Achsen in einer geraden Linie liegen, besteht und dazu dient ferngelegene Gegenstände dem Auge scheinbar näher zu rücken. Je ferner nämlich ein Gegenstand dem Auge ist, desto kleiner und undeutlicher erscheint er bekanntlich demselben; indem nun das Fernrohr ein Bild des Gegenstandes, auf welchen es gerichtet ist, vor das Auge stellt, welches so groß ist, wie derselbe Gegenstand erscheinen würde, wenn er dem Auge um eine gewisse Weite näher stände, scheint es den Gegenstand um diese Entfernung dem Auge näher zu bringen.

Wer der erste Erfinder dieses namentlich für die Astronomie über Alles wichtigen Instrumentes gewesen sei, hat, wie sehr man sich auch Mühe gegeben es zu ermitteln, mit Gewißheit doch nicht aufgefunden werden können. Schon aus früheren Zeiten finden sich Andeutungen, die wenigstens den Gedanken an die Möglichkeit der Construction eines Fernrohres aussprechen, wirklich in Gebrauch sind die Fernröhre aber sicher erst seit dem Anfange des 17. Jahrhunderts. Viele Zeugnisse stimmen dahin überein, daß ein Brillenmacher Zacharias Jansen in Middelburg um das Jahr 1600 das erste Fernrohr zusammengesetzt habe. Von diesem sollen Adrian Metius, (dessen Sohn Des Cartes als Erfinder angibt) und Drebbel Fernröhre gekauft haben. Auch darüber, ob der Zufall oder Nachdenken die Entdeckung veranlaßt, sind die Meinungen getheilt. Schon vor 1608 kamen Fernröhre aus Holland, und im J. 1609 hatte man dieselben (nach v. Zach) in London schon so zahlreich, daß von einer Auswahl die Rede sein konnte. Von Galilei wird erzählt, daß er im J. 1609 Nachricht von einem in Holland gefertigten Instrument erhielt, welches entfernte Gegenstände so zeigte, als ob sie nahe wären; worauf er dann in Einer Nacht die Construction eines solchen Instrumentes aufgefunden und nach einem vorläufigen Versuche ein achtmal vergrößerndes Fernrohr zusammengesetzt habe. Durch Galileo Galilei ist dann das Fernrohr allgemein bekannt worden und die Vervollkommnung desselben ein Gegenstand der angestrengtesten Bemühungen der ausgezeichnetsten Physiker geworden.

Die Fernröhre bestehen im Allgemeinen in zu Errichtung ihres oben angegebenen Zweckes geeigneten Vereinigungen von Linsen mit einander und von Linsen und Spiegeln.*) Man theilt sie hiernach ein in **dioptrische Fernrohre**, welche nur aus Linsen bestehen und in **kat-**

*) Vergl. zu diesem ganzen Artikel die Art. Linsen und Spiegel. (Auch Brennpunkt, Brennraum, Brennweite u. a.)

optrische, welche aus Linsen und Spiegeln zusammengesetzt sind. Große dioptrische Fernröhre werden Refractoren (lat., Lichtbrecher), große katoptrische Reflectoren (lat., Zurückwerfer) genannt. Tubus (lat., Rohr), ist ein dioptrisches Instrument von mittlerer Größe. Jedes Fernrohr hat zwei wesentliche Theile, nämlich ein Ocular (v. d. lat. oculus, Auge) welches beim Gebrauche gegen das Auge des Beobachters gewendet ist und ein Objectiv (v. d. lat. objectum Gegenstand), welches gegen den zu beobachtenden Gegenstand, gerichtet wird. Die Beschaffenheit des Objectivs macht den Unterschied zwischen den dioptrischen und dem katoptrischen Fernrohre, indem das Objectiv des ersteren eine Converlinse, das des letzteren ein Hohlspiegel ist.

Das von einem Gegenstande ausgehende Licht, wird bekanntlich durch eine convexe Linse sowohl als durch einen Hohlspiegel gesammelt und ein hellerleuchtetes Bild jenes Gegenstandes in einem bestimmten Punkte hinter der Linse oder vor dem Hohlspiegel dargestellt. Dieses Bild wird nun im Fernrohre durch ein zweites Glas, oder durch eine geeignete Verbindung mehrer Gläser betrachtet, und zwar müssen diese so angeordnet sein, daß man den Gegenstand unter einem größeren Sehwinkel erblickt, als derselbe dem unbewaffneten Auge erscheint. Das Objectiv des Fernrohrs ist es, welches das Bild des Gegenstandes darstellt, welches mittelst des Ocularglases betrachtet wird. Ein aus Einem Glase bestehendes Ocular heißt ein einfaches, während ein zusammengesetztes aus mehren in der Ocularröhre verbundenen Gläsern besteht. Ocular und Objectiv müssen in allen Fällen so mit einander verbunden sein, daß ihre Axen in derselben geraden Linie liegen oder w. d. die Mittelpunkte aller der Kugelflächen von denen die Linsen oder Spiegel Abschnitte sind, so wie die Brennpunkte (auch Zerstreuungspunkte) der Linsen und Spiegel müssen in Einer geraden Linie, der Axe des Fernrohres, liegen. Ein Fernrohr, in welchem Linsen und Spiegel diese Stellung erhalten haben, heißt ein richtig centrirtes Fernrohr. Um den störenden Einfluß fremden, nicht vom betrachteten Gegenstande kommenden Lichtes aufzuheben, schließt man Objectiv und Ocular in Röhren ein.

Je nach den verschiedenen Zwecken, zu denen man sich der Fernröhre bedient, hat nämlich das Ocular eine verschiedene Einrichtung, und das Fernrohr erhält demgemäß verschiedene Namen. Folgende sind die wichtigsten dioptrischen Fernröhre.

Das Holländische oder Galiläische Fernrohr hat zum Ocular eine concave Linse, die so gegen das Objectiv gestellt ist, daß die von einem hinlänglich entfernten Gegenstande ausgehenden, durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas so gebrochen werden, als kämen sie von einem Gegenstande, der sich in der deutlichen Sehweite befindet. Wenn (Fig. 145.) A das Objectiv, B das Ocular ist, so fängt, wie die Figur andeutet, das Objectiv die von nem entfernten Gegenstande kommenden Strahlen auf, und würde bei Abwesenheit des Ocularglases in a c b ein verkehrtes Bild des Gegenstandes zeigen. Durch das Ocularglas werden aber die Strahlen so

Digitized by Google

gebrochen als kämen sie vom Bilde a' c' b', und der Gegenstand erscheint folglich dem vor B befindlichen Auge in natürlicher Stellung und vergrößert. Durch eine hier nicht aufzuführende mathematische Betrachtung findet man die Vergrößerungszahl dieses Fernrohres (unter den Voraussetzungen, daß der Gegenstand weit entfernt und die Brennweite des Ocularglases sehr klein gegen die deutliche Sehweite ist), gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases. Das Gesichtsfeld (der Raum, den man auf einmal durch das Fernrohr übersieht), ist beim Holländischen Fernrohre stets sehr klein, und da die Vergrößerungskraft jedes Fernrohres nur auf Kosten der Größe des Gesichtsfeldes erhöht werden kann, so ergibt sich hieraus, daß es auch nicht auf eine bedeutende Vergrößerung eingerichtet werden kann. Es wird daher im Großen nicht mehr viel Anwendung von diesem Fernrohre gemacht, am häufigsten bedient man sich desselben mit 2 bis 4 maliger Vergrößerung zu Theaterperspectiven.

Das astronomische Fernrohr ist zusammengesetzt aus einer convexen Linse A (Fig. 146.) als Objectiv und einer ebenfalls convexen Linse B als Ocular. Die Gläser sind so gegen einander gestellt, daß das von einem entfernten Gegenstande auf A fallende Licht durch das Objectiv zu einem verkehrten Bilde a b vereinigt wird, und von da aus so in das Ocularglas gelangt, daß für das hinter demselben befindliche Auge ein Bild a' b' in der deutlichen Sehweite erscheint. Der Gegenstand erscheint folglich vergrößert, aber verkehrt. Bei einer hinlänglich großen Entfernung des betrachteten Gegenstandes ist die Vergrößerungszahl gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Oculares in die des Objectives. Wie schon der Name andeutet, bedient man sich dieses Fernrohrs namentlich zu astronomischen Beobachtungen und ist daher bei Construction desselben sorgfältig bemüht, eine möglichst starke Vergrößerung zugleich mit möglichster Deutlichkeit des Bildes vereint hervorzubringen. Im Vergleiche mit dem Galiläischen Fernrohre hat das astronomische den Nachtheil, daß es die Gegenstände verkehrt zeigt, dagegen den großen Vortheil, daß es ein weit größeres Gesichtsfeld hat, und darum auch auf eine viel bedeutendere Vergrößerung eingerichtet ein kann. Die Stellung der Gläser gegen einander bringt es mit sich, daß die Länge des ganzen Fernrohres gleich der Summe der Brennweiten beider Gläser ist. Das astronomische Fernrohr hat, wie der Vergleich zeigt, eine ganz ähnliche Einrichtung wie das gewöhnliche Mikroskop, nur daß dieses auf nahe, jenes auf entfernte Gegenstände eingerichtet ist; wie bei dem Mikroskope bringt man, um die Farbenzerstreuung des Oculars aufzuheben noch eine Collectivlinse an, wodurch zugleich auch das Gesichtsfeld vergrößert wird. Das Ocularglas ist hier daher in der Regel ein zusammengesetztes. Bei sehr starken Vergrößerungen kann jedoch das Collectivglas nicht angebracht werden. Für dasselbe Objectiv kann man sich, wie in der Natur der Sache liegt, verschiedener Oculare von verschiedener Schärfe bedienen. Bei solchen Fernröhren werden häufig an der Stelle der Blendung*) am Oculare

*) S. d. Folg. u. d. Art. Mikroskop.

feine Fadenkreuze oder Mikrometer *) eingesetzt, um damit Objecte messen zu können. Auch Rochon's Mikrometer wird zwischen dem Objective und seinem Brennpunkte angebracht, man erblickt dann den Gegenstand doppelt, und zwar stehen die beiden Bilder desto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerprisma von dem durch das Objectiv bewirkten Bilde entfernt ist; bei einem bestimmten Stande des Prisma werden sich aber beide Bilder am Rande berühren und dieser Ort wird desto mehr von den Bildern entfernt sein, je größer diese sind. Hieraus kann man dann auf die scheinbare Größe des Gegenstandes, und wenn seine Entfernung bekannt ist, auf die wirkliche Größe desselben schließen.

Das Erdfernrohr dient dazu, auf der Erde befindliche, also weniger entfernte Gegenstände zu betrachten. Dasselbe zeigt die Gegenstände vergrößert und in natürlicher aufrechter Stellung, durch welchen Umstand es sich von dem astronomischen Fernrohre unterscheidet. Das Object, eine convexe Linse ist mit einem Ocular verbunden, welches aus drei oder vier convexen Linsen besteht. A (Fig. 147.) ist das Objectivglas, welches bei a b ein verkehrtes Bild von einem hinreichend entfernten Gegenstande macht; von diesem fallen nun die Lichtstrahlen auf das erste Ocularglas B und von diesem auf das zweite C, auf das dritte D und endlich auf das vierte E, durch welches sie endlich ins Auge gelangen. Hinter dem zweiten Ocularglase C entsteht dann ein natürlich stehendes Bild a' b' des Gegenstandes, welches durch D und E betrachtet, dem Auge in der deutlichen Sehweite erscheint. Die Linsen B und C dienen also zur Umkehrung des von A gemachten Bildes, die Linse D bewirkt die Achromatisirung**) des von der Linse E gemachten Bildes. Die durch dieses Fernrohr bewirkte Vergrößerung hängt von den Brennweiten dieser fünf Gläser und ihren Abständen von einander ab. Wenn man nun die beiden dem Auge zunächst befindlichen Linsen in derjenigen Entfernung von einander läßt, welche der Achromatismus der Ränder erfordert, so kann man doch noch die Lagen der anderen innerhalb gewisser Grenzen verändern ohne die Wirksamkeit des Instrumentes völlig aufzuheben. Nur die durch das Fernrohr bewirkte Vergrößerung wird hierbei eine andere, und durch geringere oder größere Entfernung der Gläser von einander, kann man die Vergrößerung eine Reihe von Graden durchlaufen lassen. Cauchoix hat seinen Erdfernröhren eine hierzu geeignete Einrichtung gegeben, und er nennt sie deßwegen polyaldische (v. d. griech. πολύς viel und ΑΛΛΩ verstärken). Es hängt bei diesen Fernröhren allein vom Belieben ab, ob man eine größere oder eine geringere Vergrößerung haben will, die erstere ist bei heiterem, die letztere bei trübem Wetter vortheilhafter. Für jedes Objectiv können überdieß mehre Oculare angepaßt werden, welche verschiedene Brennweiten haben, und demgemäß verschiedene Vergrößerungen erzeugen. Wenn ein Objectiv die für ein

*) Vergl. d. Art.

**) S. d. Folg. und d. Art. Linse.

Digitized by Google

aſtronomiſches Fernrohr nöthige Oeffnung und Vollkommenheit hat, ſo laſſen ſich mit ihm ſowohl aſtronomiſche als irdiſche (lat. terreſtriſche) Ocular-Aufſätze verbinden.

Nach Baumgartner iſt das größte bis jetzt verfertigte, dioptriſche Fernrohr der Frauenhoferſche Refractor zu Dorpat. Das Objectiv deſſelben hat 9 Par. Zoll Oeffnung und 160 F. Brennweite, und vergrößert mit dem ſchärfſten Ocular 600 mal. Er iſt zugleich mit einem Uhrwerke verſehen, durch welches er wie ein Fixſtern in einem Kreiſe herumgetrieben wird, ſo, daß wenn ein Fixſtern einmal in das Geſichtsfeld gebracht iſt, derſelbe ſtets darin bleibt, ohne daß das Inſtrument einer Beihilfe des Beobachters bedarf. Als eine beſondere Art der aſtronomiſchen Fernröhre ſind noch die Nachtfernröhre oder Kometenſucher zu erwähnen. Dieſelben ſollen namentlich dazu dienen, nicht ſtark leuchtende Gegenſtände, deren Ort man nicht mit Genauigkeit kennt, aufzuſuchen (z. B. kleine Kometen, Nebelflecke, Sterne geringer Größe, Schiffe auf dem Meere u. ſ. w.), und müſſen daher eine möglichſt bedeutende Lichtſtärke und ein großes Geſichtsfeld haben. Das Objectiv muß, um den angegebenen Zweck zu erreichen, eine bedeutende Oeffnung bei mäßiger Brennweite haben. Da man ſich der Kometenſucher nur bedient, um einen Gegenſtand aufzuſuchen, den man nachher durch ein anderes Fernrohr betrachtet; ſo ſchadet es nichts, wenn das Nachtfernrohr bei einem großen Geſichtsfelde und bedeutender Lichtſtärke eine nur geringe Vergrößerung gibt.

Kurze Zeit nach dem allgemeineren Bekanntwerden der Fernröhre ging man bei Verfertigung derſelben namentlich darauf aus, möglichſt bedeutende Vergrößerungen zu erlangen, und hierzu mußte man Gläſer mit großen Brennweiten herſtellen, auch mußten die Gläſer demgemäß in weiten Abſtänden von einander ſtehen. Huygens verfertigte ein Glas von 210 F. Brennweite und Auzout in Frankreich ſtellte ſogar ein Glas her, welches 600 F. Brennweite hatte. Gewöhnlich werden die Gläſer innerhalb eines Rohres in der gehörigen Entfernung von einander befeſtigt; bei Gläſern mit ſo bedeutenden Brennweiten würde aber die Behandlung eines ſo langen Rohres, als erforderlich wäre, ſehr unbequem ſein, und daher gab Hartſöker eine Einrichtung an, bei welcher die Röhre ganz weggelaſſen und das Objectivglas in freier Luft, etwa an der Spitze eines Baumes, an einer Mauer oder dergl. befeſtigt war. Dieſe Einrichtung wurde ein Luftfernglas, ein Fernglas ohne Röhren genannt. Huygens verbeſſerte dieſe Einrichtung, indem er das Objectivglas in eine kurze Röhre faßte, welche ſich mittelſt einer Nuß nach allen Richtungen drehen ließ, und es damit oben an einer hohen Stange befeſtigte. Die Mittellinie dieſer Röhre konnte er mittelſt eines ſeidenen Fadens richten, und ſie in eine gerade Linie mit der Mittellinie einer anderen kurzen Röhre bringen, worin das Augenglas befindlich war und die er in der Hand hielt; das Geſtell, auf welchem die Röhre mit dem Objectivglaſe ruhte, konnte erhoben und niedergelaſſen werden. Jetzt ſind nach Erfindung der Spiegelteleſkope und der achromatiſchen Fernröhre dieſe ſo ſehr langen Fernröhre wieder außer Gebrauch gekommen.

Digitized by Google

Bei den gewöhnlichen Fernröhren findet ſtets einige durch die optiſche Abweichung (ſ. d. Art.) veranlaßte Undeutlichkeit des Bildes ſtatt, welche darin beſteht, daß der betrachtete Gegenſtand dem Auge mit farbigen Rändern und in falſchen Farben erſcheint. Schon in den erſten Zeiten nach Bekanntwerdung der Fernröhre, bemühte man ſich dieſem Uebelſtande abzuhelfen, da aber Newton (veranlaßt von einer unrichtigen Beobachtung) an der Möglichkeit einer völligen Beſeitigung verzweifelte, ſo gab man den Gedanken an achromatiſche (griech., farbloſe) Fernröhre wieder auf. Von der Betrachtung des menſchlichen Auges, welches die Bilder farblos zur Wahrnehmung bringt, geleitet, behauptete zuerſt Euler wieder die Möglichkeit der Achromatiſirung und der engl. Optiker John Dollond war der erſte, welcher achromatiſche Fernröhre herſtellte. Da ſich die achromatiſchen Fernröhre von den gewöhnlichen nur durch die Beſchaffenheit der Linſen unterſcheiden, ſo wird verſtändlicher von ihnen im Art. Linſen, achromatiſche näher die Rede ſein.

Schon vor John Dollond ſoll im J. 1750 von Cheſter More Hall das erſte achromatiſche Teleſkop ausgeführt worden ſein, allgemeinere Verbreitung erlangten die achromatiſchen Fernröhre aber erſt durch John Dollond ſeit 1758. Die Objective der von und nach Dollond gearbeiteten Fernröhre beſtehen aus zwei oder drei Gläſern, einem Kronglaſe und einem Flintglaſe oder einem Flintglaſe zwiſchen zwei Kronglaſern, welche an einander gefügt oder an einander gekittet ſind. Nachdem ſich ſchon längere Zeit verſchiedene Phyſiker bemüht hatten, Achromatismus durch getrennte Gläſer hervorzubringen, zu welchem Zwecke unter andern Barlow vorſchlug, ſtatt des Flintglaſes eine zwiſchen Glas eingeſchloſſene Flüſſigkeit (Schwefelkohlenſtoff) zu nehmen, machte beſonders Littrow auf die Möglichkeit einer ſolchen Einrichtung und auf die daraus erwachſenden Vortheile: Verminderung des Durchmeſſers der Correctionslinſe (von Flintglas oder einem paſſenden Surrogate) und bedeutende Verkürzung des ganzen Inſtrumentes, aufmerkſam, und nannte ein achromatiſches Fernrohr mit einem einfachen Objectiv von Kronglas (die Collectivlinſe) und einer davon getrennten Correctionslinſe ein dialytiſches Fernrohr (v. d. griech. διαλύω trennen). Ein ſolches wurde nun zuerſt von Plöſſl, mit getrenntem dreifachen Objectiv im J. 1832 hergeſtellt, und derſelbe hat ſeitdem eine große Anzahl größerer und kleinerer dialytiſcher Inſtrumente (auch Theaterperſpective) gefertigt, welche den ungetheilteſten Beifall aller Phyſiker als alle Erwartungen übertreffend erhalten haben. Die Vortheile beſtehen namentlich darin, daß ein nur halb ſo großes Flintglas als bei der Dollondſchen Einrichtung nöthig iſt, indem wegen der Entfernung der Flintglaslinſe von dem Kronglaſe, jene nur die Hälfte der Objectivöffnung des Fernrohres zum Durchmeſſer zu haben braucht (ein Vortheil, der bei der Koſtbarkeit des Flintglaſes und der Schwierigkeit es in großen tauglichen Stücken zu erhalten, bedeutend iſt), ferner, daß die Fernröhre bedeutend verkürzt werden (indem z. B. ein Tubus von 10 Z. Oeffnung nach alter Art 15½ F., dialy-

Digitized by Google

tisch nur 10 F. hat *)); endlich, daß die dialytischen Fernröhre durch Schärfe und Lichtstärke sich auszeichnen, weil (nach Littrow) die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch die Correctionslinse sich mit viel größeren Winkeln als bisher zu dem Bilde vereinigen, und dadurch dem Bilde selbst mehr Präcision und eine schärfere Begrenzung geben. **)

---

*) Die dialytischen Fernröhre haben für jeden Zoll des Durchmessers ihrer Objectivöffnung beiläufig Einen Fuß Brennweite.

**) Baumgartner erläutert dieß näher. Den Durchschnittspunkt zweier auf Papier verzeichneten feinen Linien kann man mit desto mehr Sicherheit mit einer Nadelspitze bezeichnen, einen je größeren Winkel jene Linien mit einander machen; sind dieselben nur wenig gegen einander geneigt, so fällt ihr wahrer Durchschnittspunkt zweideutig aus, ja es können gleichsam mehre Punkte hinter einander als Durchschnittspunkte angesehen werden, aber keiner hat den reinen Character des wahren Durchschnittspunktes von Linien. — Ein sehr feiner Lichtbüschel wirkt auf unser Auge wie ein einzelner Strahl, und der Durchschnittspunkt mehrer solcher Büschel ist der Ort des Bildes. Dieser Punkt wird demnach auch desto präciser, unzweideutiger, mithin deutlicher erscheinen, unter je größerem Winkel sich die Büschel schneiden.

Um von der Beschaffenheit und dem Preise der jetzt allgemein beliebten dialytischen Fernröhre einen Begriff zu geben, füge ich nach Plössl's eigener Angabe das Verzeichniß einiger Instrumente, wie sie von ihm gefertigt werden, an: Fernrohr von Messing, mit Stative aus messingener Säule mit Dreifuß zum Zusammenlegen, mit horizontaler und verticaler Bewegung. Tubus von 28″ Länge, Objectiv von 26‴ Oeffnung und 22″ Brennweite; zwei irdische Oculare von 40 und 60 maliger Vergrößerung, zwei astronomische Oculare von 45 und 70 maliger Vergrößerung nebst Sonnenglas, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß. 140 fl.

Derlei mit Tubus von 35″ Länge, von 33‴ Objectivöffnung und 29″ Brennweite; zwei irdischen Ocularen von 53 und 70 maliger und drei astronomischen von 45, 72 und 105 maliger Vergrößerung, nebst Sonnenglas, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß. . . . . 230 —

Derlei mit Tubus von 40″ Länge, mit horizontaler und verticaler sanfter Bewegung durch Triebwerk; Objectivöffnung von 37‴; Brennweite von 34″; zwei irdischen Ocularen von 56 und 80 maliger, und vier astronomischen von 50, 80, 111 und 135 maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß. . . . . 310 —

Fernrohr mit Pyramidalstativ von Mahagonyholz, unmittelbar auf dem Boden stehend, mit horizontaler und verticaler Bewegung durch Triebwerk, Tubus von Mahagonyholz von 44″ Länge, Objectivöffnung 41‴ und Brennweite 38″; zwei irdischen Ocularen von 60 und 90 maliger, vier astronomischen von 55, 80,

Digitized by Google

Ehe man es für möglich hielt achromatische Linsen herzustellen, kannte man kein anderes Mittel durch Fernröhre reine und von farbigen Rändern möglichst freie Bilder entfernter Gegenstände zu erlangen, als dieß, daß man statt der Linsen Spiegel zum Objectiv anwandte, und erhielt so die katoptrischen Fernröhre oder Spiegelteleskope. Das Bild, welches der Hohlspiegel gibt, ist von der chromatischen Abweichung gänzlich frei, und in dieser Hinsicht übertrifft ein Spiegel die beste achromatische Objectivlinse, indem deren Achromatismus nie ganz vollständig ist; die sphärische Abweichung, welche zwar statt findet, ist kleiner als bei einer Linse von gleicher Oeffnung. Dagegen absorbiren die Spiegel mehr Licht als Linsen, und verlieren weit eher ihren Glanz als Linsen ihre Durchsichtigkeit, auch ist die Handhabung der Spiegelteleskope minder bequem als die der dioptrischen Fernröhre. Folgende sind die wichtigsten Arten dieser Teleskope.

Das Herschelsche Fernrohr besteht aus einem Hohlspiegel A B (Fig. 148.), welcher sich in einer Röhre befindet, gegen deren Are er etwas geneigt ist. Daher kommt es denn, daß die von ihm zurückgeworfenen Strahlen von einem ihm entgegenstehenden Gegenstande zu einem Bilde sich vereinigen, welches verkehrt bei a b in der Nähe des unteren Randes der Röhre sich darstellt. Dieses Bild wird durch eine Ocularlinse c betrachtet. In dieser Einrichtung liegt der Uebelstand, daß durch den Kopf des mit seinem Auge vor c befindlichen Beobachters eine Anzahl Strahlen vom Spiegel abgehalten wird. Damit dieser Verlust gegen die ganze den Spiegel treffende Lichtmenge möglichst unbedeutend sei, muß man sich bei diesen Fernröhren sehr großer Hohlspiegel bedienen. So hat das Spiegelteleskop, mit dessen Hilfe der berühmte Herschel eine große Anzahl seiner wichtigen astronomischen Entdeckungen machte, einen Hohlspiegel von 4 F. im Durchmesser; die Brennweite dieses Spiegels ist 40 F., und das Gewicht desselben 25 Centner; er vergrößert 7000 mal und bringt 36500 mal so

---

120 und 160 maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern und achromatischem Sucher. Die Oculare und Sonnengläser in polirtem Kästchen von Nußbaumholz mit Schloß. . . . . 430 fl.

Derlei mit Tubus von 48″ Länge; Objectivöffnung von 45‴ u. 42″ Brennweite, zwei irdischen Ocularen von 65 u. 100 maliger Vergrößerung, fünf achromatischen von 55, 80, 120, 160 und 230 maliger Vergrößerung. Nebst zwei Sonnengläsern, Ringmikrometer und achromatischem Sucher, in polirtem Kästchen von Nußbaumholz mit Schloß. . . . . 570 —

Derlei mit Tubus von 51″ Länge; Objectivöffnung von 48‴, Brennweite 45″; zwei irdischen Ocularen von 65 und 110 maliger; fünf astronomischen von 60, 90, 130, 180 und 270 maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern, Ringmikrometer und achromatischem Sucher. Die Oculare, Sonnengläser und der Ringmikrometer in polirtem Kästchen von Nußbaumholz mit Schloß. . . . . 760 —

Digitized by Google

viel Licht ins Auge, als ohne ihn von demselben Objecte dahin gelangen würde.

Das Newtonsche Fernrohr besteht aus einem großen Hohlspiegel AB (Fig. 149.), welcher die auf ihn fallenden Strahlen zurückwirft, und aus einem kleinen gegen die Axe des Hohlspiegels unter 45° geneigten Planspiegel CD, welcher die vom Hohlspiegel zurückgeworfenen Strahlen nach einer seitwärts angebrachten Converlinse E reflectirt; das hinter E befindliche Auge erblickt das Bild verkehrt. Dieß letztere ist ein Uebelstand des Instrumentes, so wie der Umstand, daß sich mit demselben der zu betrachtende Gegenstand schwer auffinden läßt. Um der letztgenannten Unbequemlichkeit auszuweichen, ist mit dem Newtonschen Fernrohre gewöhnlich ein kleines dioptrisches Fernrohr (ein Sucher) so verbunden, daß die Axen beider Fernröhre parallel gehen; dann ist es leicht, dem Fernrohre die gewünschte Stellung zu geben.

Das Gregorysche Fernrohr hat bei AB (Fig. 150.) einen großen Hohlspiegel, welcher die von einem entfernten Gegenstande kommenden Strahlen bei ab zu einem verkehrt stehenden Bilde vereinigt. Von diesem gelangen dann die Strahlen zu einem zweiten kleineren Hohlspiegel CD, und dieser reflectirt sie gegen den ersten großen Spiegel, in dessen Mitte sich ein Loch befindet. Die zurückgeworfenen Strahlen vereinigen sich bei cd zu einem aufrechtstehenden Bilde, welches durch die in der angegebenen Oeffnung des Spiegels befindliche Converlinse E betrachtet wird. Vor dem vorigen hat dieses Fernrohr den Vorzug, daß es die Bilder in natürlicher Stellung zeigt, allein diese leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt beider Spiegel sehr an Deutlichkeit. Cassegrain nahm daher statt des kleineren Concavspiegels einen kleinen Converspiegel. Die Spiegel sind dann aber so gestellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den converen fallen, als sie zu einem Bilde vereinigt werden.

Der Grad der Vollkommenheit eines Fernrohrs hängt ab von dem Grade der Vergrößerung, der Deutlichkeit und der Helligkeit des Bildes und von der Größe des Gesichtsfeldes. Diese Eigenschaften sind aber von der Art, daß man, um eine derselben zu erhöhen, andere nothwendig herabsetzen muß. Um z. B. die Vergrößerung zu steigern, muß man für dasselbe Objectiv ein Ocular mit größerer Brennweite anwenden; soll aber dann das Bild deutlich bleiben, so muß das Ocular eine kleinere Oeffnung erhalten, und dadurch wird dann das Gesichtsfeld beschränkt. Auch an Helligkeit muß das Bild verlieren und überhaupt nimmt die Helligkeit bei derselben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectivs zu. Jedes Fernrohr verträgt daher mit einem bestimmten Objectiv nur eine gewisse Vergrößerung.

Baumgartner führt an, daß bei Frauenhofer's Fernröhren folgendes Verhältniß zwischen der Oeffnung der Objective und den Vergrößerungen, die sie vertragen, stattfinde.

Digitized by Google

Oeffnung des Objectives.	Vergrößerungen.
6 Z. 6 L.	aſtron. 62, 93, 140, 210, 320, 470.
4 " 4 "	aſtron. 64, 96, 144, 216, 324. terreſt. 82, 120.
4 " — "	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270. terreſt. 66.
3 " 7 "	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270. terreſt. 66.
3 " 1 "	aſtron. 64, 96, 144, 216. terreſt. 57, 80.
2 " 10 "	aſtron. 54, 84, 126. terreſt. 50, 70.
2 " 5 "	aſtron. 60, 90. terreſt. 42.
2 " 3 "	aſtron. 60, 90. terreſt. 40.
1 " 9 "	aſtron. 40, 60. terreſt. 28.

Schon oben wurde bemerkt, daß das Objectiv mit dem Oculare zur Abhaltung des Seitenlichtes durch Röhren verbunden werde. Dieſe Röhren werden inwendig geſchwärzt, damit ſie das auf ſie ſeitlich fallende Licht nicht zurückwerfen, und ſind ſo durch Ineinanderſtecken zweier oder mehrer Röhren eingerichtet, daß das Ocular dem Objectiv in gewiſſen Grenzen mehr oder weniger genähert werden kann. Bei größeren Fernröhren, wo das Objectiv eine Oeffnung von mehr als 24 L. hat, hat man gewöhnlich nur zwei ſolche Röhren, von denen die kleinere den Oculareinſatz enthält und entweder mittelſt einer beſonderen Schraubenvorrichtung oder auch unmittelbar mit der Hand dem Objective genähert werden kann. Bei den Erdfernröhren werden in gewiſſen Fällen an den Oculareinſätzen die beiden äußerſten Oculargläſer in einer eigenen Röhre befeſtigt, um ſie gegen das Objectiv bewegen, und dadurch die Vergrößerung ändern zu können. Derartige Oculare heißen Pankratiſche. *) Kleinere Fernröhre haben, um ſie bequem in der Taſche transportiren zu können, mehre zum Ineinanderſchieben eingerichtete Röhrenſtücke. Mit Silber oder Gold plattirte Röhren dieſer Art ſchieben ſich in einer mit Tuch gefütterten Büchſe, meſſingene in federnden Hülſen. Letztere können deßhalb mehr zuſammengeſchoben werden, ohne daß man zu befürchten braucht, daß dadurch die Axen der einzelnen Linſen aus der geraden Linie gebracht werden. Längere Röhrenſtücken ſind ſelten vollkommen gerade und daher haben bei einem auseinander gezogenen Fernrohre die einzelnen Röhrenſtücken nur bei

*) V. d. griech. πᾶς all und κρατέω vermögen. Vergl. d. Vorh.

Digitized by Google

einer gewissen Stellung die zur richtigen Centrirung erforderliche Lage gegen einander. Um diese Lage leicht finden zu können, sind bei den sorgfältig gearbeiteten Instrumenten an den Enden der Röhren Sternchen angebracht, und man muß nun die Röhren so stellen, daß jene Sternchen in eine gerade Linie zu liegen kommen.

Um zu untersuchen, ob ein Fernrohr richtig centrirt sei, und wenn es nicht der Fall ist, es zu bewirken, kann man sich folgender Methode nach Frauenhofer bedienen. Wenn nämlich die Linse A (Fig. 151.) nicht richtig centrirt ist, so fällt ihr Brennpunkt nicht in die Linie DA (die Axe des Fernrohrs), sondern auf einen außerhalb DA liegenden Punkt. Man bringt nun das Fernrohr so auf die Drehbank, daß des Fernrohres Axe mit der Drehungsaxe genau zusammenfällt, und sieht nun durch die Gläser auf einen entfernten Gegenstand; liegt der Brennpunkt des Objectivs so wie b, so wird bei der Drehung der Brennpunkt um den ganzen Sehewinkel bDb' seine Lage ändern und der Gegenstand scheint sich in starkem Maße zu erhöhen und zu senken. So lange dieses der Fall ist, muß die Lage des Glases, dessen Stellung Schuld hieran ist, berichtigt, und dasselbe erst dann fest gestellt werden, wenn das Tanzen des Gegenstandes völlig aufhört.

In den Röhren werden um diejenigen Punkte, in welche Bilder von den Gläsern gemacht werden, Blendungen (s. d. Art.) angebracht, deren Oeffnungen der Größe der Bilder entsprechen müssen. Dieselben dienen dazu, alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerstreute Licht abzuhalten und vermehren daher die Deutlichkeit.

Fadenkreuze werden in den Fernröhren im Brennpunkte des letzten Oculars angebracht, um den Mittelpunkt und die Lage zweier auf einander senkrecht stehender Durchmesser des Gesichtsfeldes anzugeben. Zwei oder nach Bedürfniß auch mehre (Fadennetz) Fäden von Spinneweben oder sehr dünne Metalldrähte werden über einen Ring, welcher nachher an der angegebenen Stelle in die Röhre gebracht wird, gespannt, so daß sich bei zwei Fäden diese in der Mitte des Ringes kreuzen, und nach Einsetzung des Ringes muß der Kreuzungspunkt in der Axe des Fernrohres liegen.

Zu der Prüfung des Fernrohres gibt Baumgartner folgende Anweisung. Die Güte eines Fernrohres lernt man am besten beim Gebrauche desselben kennen. Richtet man es auf einen wohlbeleuchteten Gegenstand, der auf dunklem Grunde erscheint, so muß er scharf begränzt und mit farbenlosen Rändern erscheinen. Instrumente mit starker Vergrößerung richtet man auf einen am dunkeln Himmelsgewölbe sichtbaren Stern. Ist dieses ein Fixstern, so darf er sich nur als Feuerpunkt darstellen. Da die scharfe Begrenzung des Bildes ein so wesentliches Erforderniß ist, so wird man einen Doppelstern als besonders gutes Probeobject ansehen dürfen, weil er nur dann in zwei scharf von einander geschiedene Sterne aufgelöset wird, wenn jene Begrenzung stattfindet. Für schwächere Instrumente leistet eine feine, hinreichend entfernte Schrift, oder eine aus parallelen schwarzen Linien bestehende auf weißem Papier befindliche Zeichnung, gute Dienste. Die genannte Schärfe der Ränder soll aber nicht bloß dann statt finden, wenn das

Digitized by Google

Object in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint, sondern dieses muß auch außer der Mitte bis nahe am Glasrande der Fall sein, jedoch ist selbst bei den besten Fernröhren die Lichtstärke da etwas geringer, weil von den außer der Axe liegenden Punkten weniger Lichtstrahlen ins Auge kommen können, als von denen, die sich in oder zunächst um die Axe befinden. Ein Instrument, bei dem dieser Unterschied der Helligkeit gar auffallend ist, verträgt wegen Fehlern des Objectivs nicht die gehörige Oeffnung des Oculars, und kann nicht auf den ehrenvollen Namen eines ausgezeichneten Anspruch machen, noch weniger ist dieß bei dem der Fall, das in gleicher Entfernung von der Axe, aber nach verschiedenen Seiten eine ungleiche Deutlichkeit zeigt. Manche achromatische Instrumente haben diesen Fehler, weil das zum Objectiv gebrauchte Flintglas nicht homogen genug ist und an verschiedenen Stellen ein verschiedenes Brechungs- und Zerstreuungsvermögen hat, oft liegt es auch in dem Mangel der gehörigen Figur der Objectivlinse. Wenn man durch das Objectivglas auf das Ocular sieht, so soll man selbst von der äußersten Stelle des ersteren noch durch letzteres sehen können. Bei Frauenhofer's Instrumenten ist dieses immer, bei den englischen selten der Fall. Lerebour's sonst gepriesene Instrumente, selbst der größten Art, sind diesem Fehler sehr stark unterworfen. Wo dieser eintritt, da ist wieder der oben gerügte Fehler einer schlechten Oeffnung des Oculars vorhanden, und es ist wahrscheinlich selbst das Objectiv fehlerhaft construirt. Ein Objectiv, das den Namen eines achromatischen verdienen soll, muß bekanntlich die äußersten, lebhaftesten Farben mit den mittleren Strahlen des Farbenbildes vereinigen. Aber von zwei Objectiven, deren jedes dieses leistet, kann doch eines dem andern vorzuziehen sein, weil in einem der Rest der Farben weniger zerstreut sein kann, als in dem anderen. Um sie mit einander zu vergleichen, richtet man die Fernröhre, an dem sie sich befinden, auf einen entfernten verticalen Gegenstand, z. B. auf einen Kamin, deckt die eine verticale Hälfte des Objectivs mittelst eines Schirmes und betrachtet mit dem schärfesten Ocular jenes Object; da muß man den verticalen Rand desselben und alle verticalen Linien an demselben deutlich sehen, wenn die Farbenzerstreuung gehoben sein soll, und dasjenige Objectiv wird das beste sein, wo hierin die größte Deutlichkeit stattfindet. Dabei darf man sich aber durch die erscheinenden Farben nicht beirren lassen und soll nur auf die Schärfe und Deutlichkeit sehen. Doch ist es nicht gleichgültig, welche Farbe bei einem zum Theile gedeckten Objectiv erscheint. Ein violetter Farbensaum schadet weniger, als ein gelber oder oranger, weil erstere Farbe im ganzen Farbenbilde die geringste, letztere aber die größte Intensität hat. Wenn man das Ocular über die Stelle des deutlichen Sehens hinauszieht, so zeigt jedes Fernrohr selbst mit ganzem Objectiv Farbensäume, und zwar deßhalb, weil es nicht alle farbigen Strahlen in einem Punkte zu vereinigen vermag. Aber auch hier ist es nicht einerlei, welche Farbe erscheint. Wird das Ocular zu weit herausgezogen, so können die Ränder schwach weinroth, wird es aber zu weit hineingeschoben, können sie grüngelblich sein, und doch wird man dem Objectiv die möglichste Voll-

Digitized by Google

kommenheit nicht absprechen können; denn diese Farben entsprechen den mittelst zweier Gläser nicht zu vereinigenden Strahlen.

Bestaubte Linsen hindern natürlich die Wirksamkeit eines Fernrohres, man muß sie daher aus den Röhren herausnehmen, reinigen und wieder einsetzen, wobei man, namentlich um die Centrirung des Fernrohres nicht zu zerstören, sehr vorsichtig zu Werke gehen muß. Besondere Vorsicht muß man bei den achromatischen Doppellinsen anwenden, bei denen sich Staub zwischen die beiden Bestandlinsen gezogen hat, und nicht ganz leicht weggeschafft werden kann. Baumgartner gibt folgendes Verfahren an. Will man die Reinigung einer solchen Linse vornehmen, so nimmt man die Schräubchen oder den Ring weg, der sie zusammenhält, und trennt die Gläser von einander, merkt aber wohl, welche Flächen gegen einander standen. Oft liegen zwischen den zwei Linsen kleine Staniolplättchen, die erst durch Naßmachen sich loslösen lassen. Auch die Stellen, wo sie sich befinden, muß man sich merken. Hierauf werden die Gläser zuerst mit einem in Weingeist getauchten Tuche geputzt, hierauf in Kreidewasser gewaschen und mit einem Linnentuche wohl abgetrocknet. Zuletzt kehrt man den noch daran haftenden Staub mit einem Pinsel ab. Selten wird man die Staniolplättchen zum zweiten Male brauchen können, man muß sich darum neue zu verschaffen wissen, die vollkommen gleich dick sind. Zu diesem Ende schneidet man von einem gut gewalzten Staniolstreifen mehre rechtwinkelige Stücke los, legt die zwei Gläser in der bestimmten Lage auf einander und bezeichnet die drei Punkte, wohin die Plättchen kommen. Hierauf legt man ein Plättchen an eine bestimmte Stelle und schiebt es so weit zwischen die Gläser hinein, als die Fassung reicht. Da wird man irgendwo farbige Ringe bemerken, welche ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt an der Berührungsstelle der zwei Linsen haben. Man messe mit einem Zirkel den Abstand dieses Punktes vom Rande, wo sich das Plättchen befindet, ziehe dann letzteres heraus, ersetze es durch ein anderes und bestimme neuerdings den Abstand des Mittelpunktes der Farbenringe von demselben Rande. Ist dieser Abstand dem vorigen gleich, so haben beide Plättchen einerlei Dicke, wo nicht so sind sie ungleich dick, und man muß das vorige Verfahren so oft wiederholen, bis man drei gleich dicke Stücke gefunden hat. Diese werden nun an ihren bestimmten Platz gebracht, nachdem man sie mit einer schwachen Gummilösung benetzt hat, etwas zusammengedrückt, der hervorstehende Theil derselben weggeschnitten und sie dann in die Fassung gebracht. Man muß sich hüten, die Gläser zu stark oder ungleich an einander zu pressen.

Um die Vergrößerungszahl eines Fernrohres praktisch zu bestimmen, kann man sich verschiedener Methoden bedienen. Eine dieser Methoden besteht darin, daß man das Fernrohr auf einen entfernten, in gleiche Theile getheilten Gegenstand, wie z. B. auf eine Ziegelmauer, wo die Ziegelreihen noch sichtbar sind, richtet, und mit einem Auge auf das Bild im Fernrohre, mit dem andern auf den Gegenstand sieht und beobachtet, wie viele Abtheilungen des Gegenstandes in eine Abtheilung des Bildes fallen. Die Anzahl dieser Abtheilungen gibt die

Digitized by Google

Vergrößerungszahl des Fernrohrs. Diese Methode fordert aber einige Uebung und läßt sich mit Sicherheit nur auf Fernröhre anwenden, deren vergrößernde Kraft nicht bedeutend ist. Man erleichtert selbst dem Ungeübten die Anwendung derselben und macht sie zugleich für sehr stark vergrößernde Instrumente brauchbar, wenn man vor dem Oculare einen kleinen ebenen Mittelspiegel so anbringt, daß seine spiegelnde Ebene unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt ist, acht Zoll hinter dem Spiegel eine Tafel aufstellt, auf deren schwarzem Grunde eine weiße Linienscale verzeichnet ist, und eine gleiche Tafel in einer bestimmten Entfernung von dem Fernrohre anbringt. So kann man mit demselben Auge in den Spiegel und neben demselben vorbeisehen und so das Bild im Fernrohre auf der Scale hinter dem Spiegel projicirt erblicken und beobachten, wie viele Felder der direkt gesehenen Scale in ein Feld des Bildes fallen. Da man nun weiß, unter welchem Winkel ein Zoll in einer bestimmten Entfernung vom Auge erscheint und zugleich denselben Winkel für das Stück der direkt gesehenen Scale kennt, welches vom Bilde gedeckt wird und sich in der deutlichen Sehweite = 8 Zoll befindet; so ist es ein leichtes, die Vergrößerungszahl zu berechnen. Dazu dient, wenn die absolute Größe des Objectes = a, die Entfernung, in welcher es sich befindet = d, das Stück der Scale, welches a deckt = A ist, die Formel $\frac{A\,d}{8\,a}$. Diese gibt nämlich die Vergrößerungszahl des Fernrohres selbst an.

Adams hat zu Bestimmung der Vergrößerungszahl eines Fernrohrs ein eigenes Instrument angegeben unter dem Namen Aurometer (v. d. griech. αὔξω vermehren und μέτρον Maß). Brandes gibt nachstehende Beschreibung desselben. Das Werkzeug selbst besteht nur aus drei kleinen metallenen Röhren, die zusammengeschoben $\frac{1}{4}$ Zoll lang sind (Fig. 152.) und 11 Linien im Durchmesser haben. Die erste Röhre aben ist in die zweite eingeschoben und hat bei d eine Glaslinse in einiger Entfernung von der Oeffnung C, die zum Hineinsehen bestimmt ist. Die zweite pmof ist am Ende mit einer durchsichtigen Hornscheibe mo bedeckt, die durch Parallelstriche in Entfernungen von $\frac{1}{100}$ Zoll getheilt ist. Die äußere Röhre gstr ist an beiden Seiten offen und dient bloß, um der Scheibe mo den gehörigen Abstand zu geben, damit sie das Bild der Oeffnung des Objectivs am Fernrohr an der Stelle, wo man sonst das Auge hält, richtig auffange. Auf eben dieser Röhre ist ein Zoll in Zehntel, und eines der Zehntel in Hundertel getheilt.

Beim Gebrauche stellt man 1. das Fernrohr so, daß man den Gegenstand deutlich sehen kann; 2. zieht man die Röhre aben so weit aus, daß man gegen den Himmel die Parallelstriche auf mo durch die Linse d deutlich sieht; 3. man setzt das Aurometer an die Ocularröhre und verschiebt die Röhre gstr so lange, bis man durch C das durch das Fernrohr auf der Hornscheibe dargestellte Bild deutlich sieht; 4. man zählt, wie viele Parallelstriche jenes Bild einnimmt; 5. man mißt den Durchmesser des Objectivglases in Hunderteln eines Zolles, und dividirt diese Zahl durch die Zahl von Hunderteln, die das Bild

Digitized by Google

einnimmt. Der Quotient ist die verlangte Vergrößerungszahl. Beim Galiläischen oder holländischen Fernrohr, wo man wegen des hohlen Augenglases kein eigentliches Bild hat, ist dieses Instrument nicht brauchbar; wohl aber bei Spiegelteleskopen, wenn man es so anbringt, daß das Bild auf der Hornscheibe recht deutlich erscheint.

Zur Aufstellung der Fernröhre bedient man sich im Allgemeinen dreibeiniger Gestelle, um jedes Wackeln des Gestelles zu vermeiden. Kleine Fernröhre werden bekanntlich in der Hand gehalten, bei größeren Fernröhren ist dieß natürlich nicht möglich. Um das Fernrohr bequem nach jeder Richtung bewegen zu können, kann es mit einer Nuß in eine Hülse gebracht sein, und eine Schraube kann dazu dienen, eine einmal gewählte Stellung zu befestigen. Noch sicherer ist es, wenn man das Fernrohr um eine verticale und eine horizontale Axe drehbar einrichtet, und um diese Bewegungen regelmäßig und sicher zu machen, können sie durch Eingreifen von Schrauben ohne Ende in mit dem Fernrohre festverbundene gezahnte Scheiben bewerkstelligt werden. Bei Instrumenten, die an einem bestimmten Orte stehen bleiben, gibt man der einen Axe, um welche das Fernrohr bewegt werden kann, statt der verticalen die Richtung der Weltaxe, eine um diese Axe gehende Drehung ist dann mit der täglichen Bewegung der Gestirne übereinstimmend. Die Bewegung eines Fernrohres in Verfolgung eines Sternes geschieht noch gleichmäßiger, so daß der Stern stets auf derselben Stelle des Gesichtsfeldes erscheint, mittelst eines Uhrwerkes, wie es bei den Frauenhoferschen Refractoren zu sein pflegt (s. oben S. 404). Die nähere Angabe über Verfertigung der verschiedenen Arten von Fernröhren würde theils zu weit führen, theils erfordert dieselbe eine nicht vorauszusetzende Menge mathematischer und technischer Kenntnisse. Eine vortreffliche Anweisung findet man in J. J. Prechtl's Praktischer Dioptrik als vollständige und gemein faßliche Anleitung zur Verfertigung achromatischer Fernröhre u. s. w. Wien 1828.

Festigkeit ist eine relative Eigenschaft der Körper, nämlich der größere oder geringere Zusammenhang der Theile eines Körpers. Feste Körper werden diejenigen genannt, deren Theile sich nur durch eine mehr oder weniger starke Kraft verschieben lassen; man unterscheidet in dieser Beziehung die festen Körper von den tropfbar flüssigen und ausdehnsam flüssigen Körpern, s. d. Art. Aggregationszustand. Der Grad der Festigkeit eines Körpers, oder, was dasselbe, der Stärke des Zusammenhanges seiner Theile kann nur im Vergleich mit der Festigkeit eines anderen Körpers bestimmt werden. Man unterscheidet absolute, relative und rückwirkende Festigkeit.

Unter absoluter Festigkeit versteht man die Kraft des Widerstandes, welchen ein Körper dem Zerreißen entgegensetzt. Wie wichtig es sei, in dieser Beziehung die Cohäsionskraft der Körper (denn diese gibt den Grad ihrer Festigkeit) zu kennen, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, wie vielfach in aller Art der Verwendung der Körper die Kraft dieses Widerstandes in Anspruch genommen wird. Auch sind die Versuche, welche diese Kraft kennen lehren, leicht anzustellen. Man

Digitized by Google

nimmt zu den Versuchen gewöhnlich längliche Körper, befestigt sie an ihrem einen Ende und bringt an ihrem anderen Ende so lange immer mehre Gewichte an, bis sie reißen. Von einem Körper, den zu zerreißen ein doppelt so großes Gewicht erforderlich ist wie zu Zerreißung eines anderen Körpers, wird man sagen, daß seine Festigkeit noch einmal so groß als die des zweiten Körpers sei. Durch derartige Versuche erfährt man aber im Grunde nur die Cohäsionskraft des jedesmal beim Versuche angewendeten einzelnen Körpers, und indem man von diesem einen Schluß macht auf andere gleichartige Körper, ist man vielen Irrthümern ausgesetzt, indem es eine Menge von Zufälligkeiten gibt, Ungleichheiten in der Anhäufung, Anordnung der Theile, Reinheit u. dgl., welche den einzelnen der gleichartigen Körper zum Zerrissenwerden durch größere oder geringere Gewichte bestimmt. Um ferner irgendwie einen allgemeinen Schluß aus den einzelnen Versuchen machen zu können, muß man annehmen, daß die Größe des Gewichtes, welche einen Körper von bestimmter Art zu zerreißen vermöge, im Verhältniß stehe mit der Größe seines Querschnittes, daß also z. B. eine Eisenstange, die im Querschnitt doppelt so groß als eine andere Stange derselben Eisenart ist, auch noch einmal so viel Gewichte als diese zu tragen im Stande sei. Aber Versuche bestätigen diese Annahme keineswegs; so fand z. B. Parrot, daß ein Eisendraht von 1 Quadratlinie Querschnitt durch 490 Pfund, ein anderer aus demselben Metall verfertigter von 350 Quadratlin., der, wenn die obige Annahme richtig wäre, erst durch 171500 Pfd. hätte reißen sollen, schon von 17300 Pfd. zerrissen wurde.

Die meisten Versuche zu Bestimmung der absoluten Festigkeit sind, wegen der ausgedehnten Anwendung dieser Körper mit Metallen, Hölzern und Stricken angestellt worden. Die Metalle, im Allgemeinen fester als die Hölzer, stehen in Bezug auf Festigkeit nach Musschenbroek in folgender Ordnung: Eisen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Versuche haben ferner gezeigt, daß gegossene Metalle eine geringere Festigkeit als geschmiedete, warme eine geringere als kalte haben, Umstände die z. B. bei den Dampfkesseln (s. d. Art. Dampfmaschine) sehr berücksichtigt werden müssen. Aus einer Reihe von Versuchen geht ferner hervor, daß gezogener Draht bei weitem fester sei als gewöhnlich gearbeitetes Metall, und daß diese größere Festigkeit namentlich von einer beim Drahtziehen sich bildenden Art von Oberhaut herrühre, welche man daher nicht ohne die Festigkeit des Drahtes zu vermindern, wegnehmen dürfe. Nach Robison wird bei Gold, Silber und Messing die Cohäsion durch das Drahtziehen verdreifacht, bei Kupfer und Eisen mehr als verdoppelt. Seguin fand ferner, daß dünne Drähte verhältnißmäßig mehr Festigkeit als dickere von demselben Metalle besitzen. Die Festigkeit der meisten Metalle wird durch schnelles Abkühlen nach Erhitzung sehr verändert, aber zum Theil in entgegengesetztem Sinne: Eisen wird dadurch stärker, Kupfer schwächer. Durch chemische Mischung wird die Festigkeit der Metalle sehr verändert, und zwar in den meisten Fällen vermehrt. Dabei kommt es nicht allein auf die Verschiedenheit der ge-

Digitized by Google

mischten Stoffe, sondern auch auf das Verhältniß ihrer Mengen an. Zuweilen bewirkt schon der Zusatz einer sehr geringen Menge eines bestimmten Stoffes eine außerordentliche Vermehrung der Festigkeit. Beispiel ist die Bereitung des Stahles (s. d. Art. Eisen).

Die Hölzer stehen hinsichtlich ihrer Festigkeit in folgender Reihe: Buche, Esche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Dieselbe Baumart hat aber sehr verschiedene Festigkeit nicht allein je nach den verschiedenen Gegenden, in denen sie wächst, sondern auch in den einzelnen Theilen (Wurzeln, Stamme, Aeste) jedes einzelnen Baumes. Die äußern und innern Theile eines Baumes haben geringere Cohäsion, als die mitten innen zwischen diesen liegenden Theile. Die stärkste Cohäsion sollen in Europa diejenigen Theile der Bäume haben, welche in deren natürlichen Stellung gegen Süd-Ost gerichtet waren.

Allgemeine Resultate über Versuche mit Stricken sind, daß Stricke von derselben Dicke desto stärker sind, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem sie bereitet sind und je weniger sie zusammengedreht sind. Durch das Zusammendrehen werden die Fäden schon in einen gespannten Zustand versetzt, welcher auf ihre Festigkeit denselben Einfluß hat, als wenn sie schon ein Gewicht trügen. Man gibt daher die Regel, daß Stricke nicht mehr gedreht werden sollen, als bis die Fäden durch das Drehen $\frac{1}{7}$ ihrer Länge verloren haben; auch hat man, um den durch das Drehen herbeigeführten Verlust an Festigkeit zu vermeiden, vorgeschlagen, schlauchförmig gewebte Stricke zu verfertigen. Aehnlichen Einfluß wie das Drehen hat auf die Festigkeit der Stricke das Naßwerden und das Theeren derselben. Geflochtene Schnüre sind stärker als gedrehte. Auch durch das Bleichen wird die Festigkeit vermindert; seidene Schnüre sind ungefähr dreimal so stark als gleich dicke leinene; eine Schnur von Menschenhaar ist stärker als eine gleich dicke von Pferdehaar u. s. w.

Außerordentlich ist die Festigkeit der aus dem flüssigen Zustande erhärteten vegetabilischen und thierischen Substanzen, des Mehlkleisters, Gummi's, Firnisses, Leimes u. s. w. Rumford hat in dieser Beziehung Versuche angestellt. Ein Cylinder von zusammengeleimtem Papiere, höchstens ein Quadratzoll Querschnitt haltend, trug 30000 Pfund, ein Cylinder von Hanffäden, nach ihrer Länge zusammengeleimt, von derselben Dicke 92000 Pfund, wogegen das beste Eisen nur 66000 Pfund, gewöhnliches nur 55000 Pfund trug. *)

Da die Resultate der Versuche über Festigkeit der Körper von der größten Wichtigkeit für die praktische Anwendung sind, so theile ich die Zusammenstellung derselben nach Muncke mit, in welcher die Festigkeit einer Anzahl von Körpern von einem rheinländischen Quadratzoll

*) Muncke bemerkt hierbei: Bei verschiedenen physikalischen Geräthschaften können wegen der ungleichen Ausdehnung der Wärme nicht füglich metallene Bänder zur Befestigung umgelegt werden. Man sieht aus dem Mitgetheilten, daß ungeleimte Papierstreifen oder Hanffäden das Nämliche und eigentlich noch mehr leisten.

Digitized by Google

Querschnitt in Berliner Pfunden ausgedrückt ist. Will man die Angaben der Tabelle auf altfranzösisches Fuß- und Gewichtsmaß reduciren, so darf man die angegebenen Größen nur mit 1,0215 multipliciren, um die Tragkraft einer Stange von 1 Par. Quadratzoll Querschnitt in Par. Pfunden, oder mit 1,0712, um sie in Berliner Pfunden zu erhalten; desgleichen gibt die Multiplication mit 0,97186 die Tragkraft einer Stange von einem englischen Quadratzoll in Londoner Pfunden, und mit 0,94317 die Tragkraft derselben in Berliner Pfunden; endlich erhält man die Tragkraft einer Stange von einem Quadratcentimeter der Durchschnittsfläche in Kilogrammen, wenn man die angegebene Zahl mit 0,06379 und in Berliner Pfunden, wenn man sie mit 0,1365 multiplicirt.

Stahl, wie zu Scheermessern	158200
" " gem. Messern	142380
" mittelm. biegsamer	130780
" bester biegsamer	125510
" bester gehärteter	118120
" gem. biegsamer	113900
" gut. englischer	133764
Eisen, schlesisch. geschmied.	78140
" schwed. geschmied.	76570
" gem. geschmied.	71360
" dicke Stangen	32922
" dünne Stangen	62710
Eisenstangen, franz.	62710
Eisen, engl. gutes im Mittel	61737
" deutsch. gegossenes	70433
" engl. gegossenes	95692
Eisendraht	60433
" mittl. Dicke	94062
" franz. stärkerer	77319
Klavierdraht, franz.	136360
" "	125420
Golddraht, Pistolengold	67129
Gold, gegossen	21093
Silberdraht	49690
Feines gegossenes Silber	42186
Messingdraht	48480
Messing	18531
Kupfer, gelbes barbarisches, geschmiedet	41128
" " schwed. "	38865
" " " gegossenes	38463
" " ungarisch. "	32661
" " spanisch. "	21785
" " japanisch. "	20910
" " barbarisch. "	23284
Kupferdraht, rother schwedischer	40205
Kupfer, geschmiedetes	33956

Digitized by Google

Zinndraht	6609
Zinn, engl. gegossenes	6167
" aus Banca	3796
" aus Malacca	3322
Bleidraht	3934
Blei, engl. gegossenes	913
Wismuth, gegossenes	3228
Zink, gegossenes	2903
Spießglanz, gegossenes	1093
Glas, weißes	2812
Eichenholz, Sommereichen vom Kern	26600
" zwischen Kern und Splint	21940
" vom Splint	14760
Steineichen	22120
Erlenholz	24740
Rothbuchen	22360
"	11467
Sakkerdanholz	22784
Eschenholz	21488
"	17492
Kiefernholz, das stärkste	21400
" das schwächste, harzig	12520
Eichenholz, ind., Teak,	15090
Engl. Eiche	10290
Weißbuche	20400
Zuckerkistenholz	18832
Weißdornholz	18350
Granadillenholz	17028
Kampherbaumholz	16347
Buchsbaumholz	15790
"	20467
Weidenholz	15709
Weißtanne	15400
"	12347
Ulmenholz	14857
Guajacholz	14432
Nußbaumholz	14261
Kirschbaumholz, wild	13978
Lindenholz	13870
Ebenholz	13504
Olivenholz	12614
Mispelbaumholz	12028
Birnbaumholz	11158
"	10106
Pflaumbaumholz	11099
Rothtannenholz	10920
Holunderholz	10547
Sandelbaumholz, roth	10128

Digitized by Google

Apfelbaumholz	10018
Mahagoniholz	8774
Hanfseile	9000
" engl.	5571
Mauerziegel	290
" brick,	283
Marmor, weißer	1863
Schiefer, italienischer	11833
" von Westmoreland	8098
" schottischer	9878
Stein, Portland-stone	882
Bath-stone	492
Craigleith-stone	794
Dundee-stone	2738

Muncke bemerkt noch zu dieser Tabelle, daß man bei der praktischen Anwendung der in ihr gegebenen Bestimmungen (in Berücksichtigung der Ungewißheit aller derartigen Bestimmungen) bei Metallen nur die Hälfte, bei Hölzern und Seilen nur den dritten Theil der angegebenen Werthe in Rechnung nehmen solle. Nach Tredgold soll man das Quadrat des Umfanges eines Hanfseiles in Zollen mit 200 und eines Cabeltaues mit 120 multipliciren, um die Tragkraft desselben in Pfunden zu finden. Die hiernach erhaltenen Werthe in engl. Maaß und Gewicht lassen sich nach dem oben angegebenen Verhältniß durch Multipliciren mit 1,029 in Berliner Pfunde verwandeln. Sind die Körper, welche Lasten tragen sollen, sehr lang, so muß man auch noch ihr eigenes Gewicht in Rechnung bringen, um zu ermitteln, wie viel sie noch ohne zu zerreißen zu tragen im Stande sind.

Die relative oder respective Festigkeit der Körper bezeichnet die Kraft, welche cylinderförmige oder prismatische Körper, die mit ihren Enden aufliegen oder mit einem ihrer Enden unbeweglich befestigt sind, einer auf ihnen ruhenden Last entgegensetzen. Ein so belasteter Körper wird sich erst bis zu einem gewissen Grade biegen, ehe er endlich bricht. Aus theoretischer Betrachtung weiß man, daß, wenn l die Länge, h die Höhe, b die Breite eines Körpers und W das Gewicht bezeichnet, welches der auf beiden Seiten unterstützte Körper, ein überall gleich dickes Parallelopipedon, ohne zu brechen tragen kann, $W = \frac{f h^2 b}{l}$ ist. Bezeichnet W' das Gewicht, welches ein nur an einem Ende unbeweglich befestigter Körper an seinem anderen Ende zu tragen vermag, so ist $W' = \frac{f h^2 b}{4 l}$. Dabei müssen alle drei Größen h, b, l in demselben Maaße genommen und b so groß sein, daß durch die Last keine Krümmung nach der Seite bewirkt wird. f bezeichnet in beiden Formeln die Kraft des Widerstandes gegen die Last, welche bei den verschiedenartigen Körpern verschieden ist, und welche durch Versuche gefunden werden muß.

Die Wichtigkeit derartiger Versuche für die praktische Anwendung

ist eben so einleuchtend wie die Unzuverlässigkeit allgemeiner Bestimmungen in einzelnen Fällen. Ein Balken, eine metallene Stange kann Fehlstellen haben, in denen sie bei einem weit unter der allgemein angegebenen Bestimmung liegenden Gewichte bricht. Einen Begriff, wie Versuche zu Auffindung der relativen Festigkeit angestellt werden können, gibt das von Beaufoy angewendete Verfahren zur Messung der Tragkraft verschiedener Holzarten. Das eine Ende des zu prüfenden prismatischen Körpers a a (Fig. 153.) wurde in einen starken Balken A A fest eingekeilt, das andere Ende trug ein eigens vorgerichtetes auf dasselbe geschobenes Bogenstück b b, damit die Richtung des herabziehenden Seiles c d c stets auf die Längenaxe desselben senkrecht wäre; an dieses Seil wurde eine Wagschale P befestigt, und durch ein Gegengewicht p, über wenig Reibung verursachende Rollen gezogen, balancirt, und wenn dann die Wagschale mit Gewichten beschwert war, so gab ein Zeiger r, an einer herabgehenden Stange s befestigt, die Biegung in Graden an, und die Summe der bis zum Zerbrechen aufgelegten Gewichte in Pfunden die absolute Tragkraft oder das Maximum der relativen Festigkeit des untersuchten Körpers. Auf diese Weise kann man dann auch leicht diejenige Last finden, mit der ein Körper beschwert werden kann, ohne daß seine Form eine bleibende Veränderung erleidet, oder nach deren Wegnahme er in seine vorige Gestalt zurückgeht. Diese Last ist als die größte anzusehen, mit der er bei der Anwendung (z. B. in der Baukunst) beladen werden darf.

Tredgold hat besonders bei der Anwendung zu berücksichtigende Versuche angestellt, indem er das Gewicht suchte, welches die Körper zu tragen vermögen ohne ihre Form bleibend zu verändern. In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate seiner Versuche zusammengestellt, f bezeichnet das Gewicht, welches ein Würfel von einem Zoll Seite zu tragen vermag, ohne seine Form bleibend zu ändern, in Berliner Pfunden; m ist das absolute Gewicht eines rheinl. Würfelzolles des nebenstehenden Körpers.

Substanzen.	f.	m.
Schmiedeeisen	18315	0,28296
Gußeisen	15743	0,27439
Glockenspeise	10289	0,30354
Messing	6894	0,31120
Zink	5865	0,26152
Zinn	2963	0,27138
Blei	1511	0,42359
Fischbein	5762	0,04827
Eiche, engl. geradfibrige	4074	0,03087
Mahagony, von Honduras	3910	0,02084
Fichte, gelbe amerikanische	4013	0,01595
Tanne, rothe	4414	0,02079

Digitized by Google

Substanzen.	f.	m.
Tanne, weiße	3735	0,01750
Lerchenbaum	2125	0,02084
Esche	3643	0,02830
Buche	2428	0,02710
Ulme	3334	0,02024

Bei der praktischen Anwendung dieser Bestimmungen kann man sich folgender Formeln bedienen, in denen die Buchstaben die oben angegebenen Bedeutungen haben. Für ein gleichförmiges, an beiden Enden aufliegendes Parallelopipedon, bei dem die Last in der Mitte aufliegt, ist, $W = \frac{2 f b h^2}{3 l}$. Wenn die Last aber nicht in der Mitte aufliegt, vielmehr der Balken außerhalb der Mitte in den Abständen g und g' mit der ganzen Last beschwert ist, so ist $W = \frac{f b h^2}{6} \times \frac{l}{g g}$. Bei gleichmäßiger Vertheilung der Last über den ganzen Balken ist die Tragkraft doppelt so groß, und dieses findet auch dann statt, wenn ein Balken an einem Ende befestigt ist, denn alsdann wird $W = \frac{f b h^2}{6 l}$, d. h. ein solcher trägt am anderen Ende nur den vierten Theil derjenigen Last, welche ein an beiden Seiten aufliegender zu tragen vermag. Für Cylinder gelten gleiche Gesetze. Sind Cylinder an beiden Seiten unterstützt, so ist für die Last in der Mitte $W = \frac{0{,}7854 f d^3}{2 l}$, in welcher Formel d den Durchmesser des Cylinders bezeichnet. Die übrigen Formeln für Cylinder entsprechen denen für Balken.

Häufig kommt es darauf an, daß ein möglichst leichter Körper eine große Last trage, man bedient sich in diesem Falle mit Vortheil statt massiver Cylinder hohler. Von zwei Cylindern, welche dieselbe Masse haben, von denen aber der eine massiv, der andere hohl ist trägt der letztere mehr als der erste, vorausgesetzt, daß er die gehörige Wanddicke hat, durchgängig gleichmäßig gearbeitet ist und keine Fehlstelle hat. Welches die passendste Wanddicke, oder, was dasselbe, welches das geeignetste Verhältniß des innern Durchmessers zum äußeren sei, darüber gibt es verschiedene Annahmen. Nach dem, was für metallene Cylinder bei den Engländern in der Ausübung angenommen wird, verhält sich die relative Festigkeit eines hohlen Cylinders zu der eines massiven von gleicher Metallmasse wie 1, 7 : 1 wenn der innere Halbmesser sich zum äußeren, wie 3 : 5 verhält, und wie 2 : 1 wenn das Verhältniß der Halbmesser = 7 : 10 ist. Dieses letzte Verhältniß gibt für die Metalldicke 0,15 des ganzen Cylinders, welches nach Tredgold die geringste Dicke ist, die ein Cylinder haben darf, wenn er nicht eingedrückt werden soll. Nennt man im Allgemeinen den äußeren Halb-

Digitized by Google

messer der Röhre = r, den inneren = n r, so erhält man für einen an beiden Enden unterstützten Cylinder, auf welchem die Last in der Mitte ruht, $W = \frac{3{,}1416\ f r^3 (1 - n^4)}{l}$; die übrigen Bestimmungen entsprechen den oben angegebenen.

Statt der vierseitigen dreiseitige Prismen anzuwenden, ist nicht zu empfehlen, da ein dreiseitiges Prisma, welches gleiche Basis und Höhe mit einem vierseitigen hat, bekanntlich halb so viel Masse als dieses hat, in Bezug auf Tragkraft aber zu diesem sich verhält = 0,339 : 1. Auch ist es nach Tredgold ungegründet, daß eine Verschiedenheit in der Tragkraft dreiseitiger prismatischer Säulen stattfinde, je nachdem die scharfe Kante oben oder unten liege.

Außer der auf ihnen ruhenden Last haben die Körper auch noch stets ihr eigenes Gewicht zu tragen, welches man in Rechnung zu bringen nicht vernachlässigen darf. Dieses Gewicht ist über die ganze Länge des tragenden Balkens vertheilt, es ist folglich für diejenige Formel, bei welcher dasselbe für die zu tragende Last angenommen war $W = w + w'$, wenn w das belastende Gewicht, w' aber das eigene Gewicht des Balkens bezeichnet; in denjenigen Fällen dagegen, in denen die Last w in der Mitte oder am Ende angebracht ist, wird $W = \frac{2\,w' + w}{2}$. Die Werthe von w' in bestimmten Fällen sind aus den oben in der Tabelle unter m angegebenen Größen zu entnehmen. Wenn w = o ist (die zu tragende Last), so kann man aus der Formel die Höhe derjenigen Balken finden, welche grade nur ihr eigenes Gewicht zu tragen im Stande sind.

Muncke bemerkt zu dem Vorhergehenden noch: Aus den mitgetheilten Formeln ergibt sich, daß die Tragkraft eines Balkens von quadratischem Durchschnitt zu der eines aus ihm verfertigten Cylinders wie 1 : 0,5895, zu derjenigen eines Cylinders woraus er gefertigt ist aber genau wie 1 : 1,7 sich verhält. Um aber aus einem Cylinder das stärkste Parallelopipedon zu erhalten, beschreibe man auf dessen Querschnitte einen Kreis, lege auf den Diameter einen Winkel von 54° 44′ 30″ und wo dieser in denselben einschneidet, da ist der Durchschnitt der beiden Flächen. Die Tragkraft der Balken wird vermehrt, wenn auf beiden Enden eine Last ruhet; noch mehr, wenn sie gespannt sind; auch erhöhet man dieselbe beträchtlich, wenn man sie in der Mitte von oben herab zu ⅓ bis höchstens ½ ihrer Dicke mit einer Säge einschneidet und in diesen Einschnitt einen eisernen Keil, welcher auf 6 Zoll Höhe etwa 1 Zoll Dicke erreicht, hineintreibt, bis der Balken sich hebt. Die Ursache liegt ganz einfach darin, daß kein Balken brechen kann, ohne vorher gebogen zu sein, das Biegen aber wird eben durch diese Ausspannung verhütet, und kann nicht statt finden, wenn nicht die absolute Festigkeit der ausgespannten Fibern überwunden wird, welche aber ausnehmend groß ist. Soll ein biegsamer Körper durch eine Last brechen, so muß er sich erst biegen, oder in der Mitte herabfallen, und weil hierzu Zeit erfordert wird, so kann er auf kurze Zeitmomente mit einer Last über seine Tragkraft beschwert werden.

Digitized by Google

Unter rückwirkender Festigkeit der Körper versteht man die Kraft, welche sie einem auf sie drückenden Gewichte entgegensetzen, also sowohl das Gewicht, welches eine Säule, ein Prisma, ohne gebogen und hernach gebrochen zu werden, tragen kann, als auch das Gewicht, welches kürzere Körper (Würfel) ohne zu bersten tragen können. Auch hierüber sind Beobachtungen und theoretische Betrachtungen angestellt worden, deren Ausführung ich aber übergehen zu dürfen glaube.

Die Festigkeit der Körper zeigt sich als Kraft des Widerstandes gegen jede (mechanische) Kraft, welche den Zusammenhang ihrer Theile zu zerstören strebt, also beim Zerreißen (absolute Festigkeit), beim Zerbrechen (relative Festigkeit), beim Zerdrücken (rückwirkende Festigkeit) und eben so auch beim Zerdrehen, welche letztere Erscheinung namentlich in der Construction der Drehwage berücksichtigt werden muß. S. d. Art. Drehwage.

Feuer nannte man ehemals und noch jetzt in der gemeinen Redeweise eines der vier Elemente, welche die Bestandtheile aller Dinge ausmachen sollten, s. d. Art. Einfache Stoffe, S. 26 d. B. Es ist aber längst bekannt und wissenschaftlich bewiesen, daß das Feuer kein eigenthümlicher Stoff sei, vielmehr ist es nur die Erscheinung des lebhaften Verbrennens der Körper, welches bekanntlich in der Verbindung derselben mit Sauerstoff besteht. Daher kommt es, daß z. B. Stahl in reinem Sauerstoff mit heller Flamme brennt, weil hier die Verbindung, welche in der freien Luft ohne Feuer langsam vor sich geht, sehr schnell stattfindet.

Das Feuer kann bekanntlich sehr gefährlich werden, wenn es unaufgehalten um sich greift, und man muß daher auf Mittel denken, es schnell löschen zu können. Da nun kein Verbrennen ohne Sauerstoff stattfinden kann, dieser aber in der atmosphärischen Luft enthalten ist, so hat man, um das Feuer zu löschen, nur nöthig, den Zutritt der atmosphärischen Luft zu dem brennenden Körper zu verhindern. Gewöhnlich sucht man brennende Gegenstände mit Wasser zu löschen und hierauf beruhen die meisten unserer Löschapparate. Indem das Wasser auf die glühenden Körper kommt, entzieht es denselben nicht allein durch Annahme eines höheren Temperaturgrades einen Theil der Wärme, sondern bei weitem mehr Wärme absorbirt es völlig (macht es latent), und verwandelt sich zugleich in Dampf. Auf solche Weise werden die brennenden Körper abgekühlt und das Brennen kann weiter nicht stattfinden. Wenig fein vertheiltes Wasser auf verhältnißmäßig heftig glühende Körper gebracht kann aber das Feuer vermehren, heftiger machen, statt es zu vernichten. Entzieht nämlich das Wasser bei seiner Verwandlung in Dampf dem glühenden Körper nicht soviel Wärme, daß der Zustand des Glühens aufhört, so zerlegt die Hitze den Wasserdampf in seine Bestandtheile Sauerstoffgas und Wasserstoffgas, das erstere ist aber der alles Verbrennen erhaltende, das letztere ein selbst brennbarer Stoff. Die Schmiede pflegen daher in das Kohlenfeuer Wasser zu spritzen, nicht um es zu löschen, sondern um die Glut heftiger zu machen. So kann man unter Umständen auch bei Feuersbrünsten durch

Digitized by Google

das Spritzen mit Wasser mehr nachtheilig als zweckmäßig handeln. Man hat vorgeschlagen, statt des Wassers verschiedener Auflösungen von Salzen, Erden, Alkalien (wie der Lauge aus Salzpfannen, der Holzaschenlauge, der schon gebrauchten Bleicherlauge, nach v. Aken einer Auflösung von 40 Pfund schwefelsauren Eisens und 30 Pfund Alaun mit 20 Pfund rothen Eisenoxyds (Colcothar) und 200 Pfund Thon vermengt, einer Lösung von Meersalz in Wasser) zum Löschen sich zu bedienen, und diese Flüssigkeiten daher an feuergefährlichen Orten vorräthig zu halten. Diese Substanzen wirken nicht allein gleich dem Wasser, sondern überziehen die von ihnen benetzten Körper überdieß mit einer Kruste, welche das weitere Verbrennen hindert.

In neuester Zeit sind auf Betrieb der österreichschen Regierung Versuche im Großen über die feuerlöschende Kraft der Häckerlinge angestellt worden, welche sehr beachtungswerthe Resultate gegeben haben. So wurden z. B. 5 Bündel und 15 Scheite Holz angezündet und mit 4 Garben Stroh bedeckt, hierauf angezündet und als sich die Flamme zur größten Mächtigkeit entwickelt hatte, warf man von 2 Seiten 6 Metzen Häckerlinge ins Feuer, wodurch es augenblicklich gelöscht wurde. Es wurden ein anderes Mal zwei Pyramyden, jede aus 12 Stück trockenen Reisigbündeln bestehend, angezündet und als das Feuer recht um sich gegriffen hatte, die eine Pyramide durch Häckerlinge, die andere mittelst einer Feuerspritze (durch Wasser) gelöscht. Dabei zeigte es sich, daß 12 Metzen Häckerlinge eben so viel Löschkraft besitzen, wie 10 Eimer Wasser durch die Spritze zweckmäßig angewendet. Eine Menge ähnlicher Versuche zeigen, wie sehr geeignet Häckerlinge sind eine Feuersbrunst noch im Entstehen zu unterdrücken.

Um einen brennenden Gegenstand zu löschen muß man in allen Fällen bemüht sein, den Luftzutritt abzuschneiden; bei brennenden Schornsteinen z. B. wo möglich die obere Mündung zu verschließen, zu welchem Zwecke Klappen angebracht sein könnten. Brennende Schornsteine, Ofenröhren und dergl. löscht man durch Anzünden einer verhältnißmäßigen Quantität Schwefel auf dem Heerde; dann erhebt sich dem Luftzug folgend schwefeligsaures Gas, absorbirt das Sauerstoffgas der Luft und verhindert so das weitere Brennen des Rußes.

Feuer aus der Erde bestehen in brennbaren und brennenden Gasen, welche aus Oeffnungen in der Oberfläche der Erde an verschiedenen Orten hervorbrechen. Muncke gibt eine Zusammenstellung der bekanntesten Stellen, wo natürliche Feuer vorkommen.

In Italien sind Feuer bei Pietra Mala, wo vorzüglich vier mit größeren und vielen kleineren Flammen brennende Stellen gefunden werden. Die vier Feuer daselbst heißen das Feuer del Legno, dell' Acqua Buja, del Peglio und de Canida. Das erste ist das stärkste, liegt am nächsten bei dem Wirthshause der Landstraße und wird daher am meisten von Reisenden besucht. Auf einer Fläche von 12 Fuß Durchmesser erscheinen mehre Flammen, deren eine hell, rein und ohne Rauch aus einem kleinen Loche in der Erde aufsteigt. In der Nacht sieht sie blaßgelb, fast weiß aus, erreicht 5 Fuß Höhe, hat am Boden 3 Fuß

Digitized by Google

Durchmesser und theilt sich zitternd oben artichockenartig in viele Blätter.

Viele kleinere in der Nähe erheben sich kaum zu 1 Fuß oder zu 2—3 Zoll, welche letztere ganz blau sind und bloß, wenn sie größer werden, oben ins Gelbliche übergehen. Oeffnet man mit einem Stocke die kleinen Oeffnungen, so werden die Flammen größer. Eben so wenn man mit dem Fuße auf der Erde stampft. Die kleineren lassen sich leicht ausblasen, oder mit einer Prise Erde auslöschen, entzünden sich aber durch die benachbarten wieder. Die großen können nur durch eine beträchtliche Quantität Wasser gelöscht werden, nicht durch den heftigsten Wind, oder wenigstens nur für einen Augenblick, worauf sie sich mit einer Explosion wieder entzünden. Menard de la Groye und Spallanzani glauben, daß sie sich stets durch die Hitze des Bodens wieder entzünden, und daß sie durch Kunst wieder entzündet werden müßten, wenn dieser genugsam abgekühlt wäre. Der Glaube, daß sie bei feuchter Witterung stärker brennen, wird stark bestritten. Die Hitze der Flamme ist sehr groß, doch nicht so, um Steine zu verglasen. Das Gas ist nicht reines, sondern kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas. Vielleicht ist etwas von Steinöl darin, wovon man den eigenthümlichen Geruch und den Rauch der Flamme ableitet.

Die Acqua Buja ist ein kleiner unregelmäßiger Teich, von höchstens 6 Fuß Durchmesser. Aus diesem steigen mit Murmeln stets Blasen auf, deren Inhalt ganz wie Kohlen-Wasserstoffgas riecht. In der Nähe auf dem Trockenen entzündet es sich leicht. Das Wasser ist kalt und klar, schmeckt aber häßlich.

Die Feuer von Barigazzo werden schon 1684 erwähnt. Sie nehmen nach Spallanzani 15 Fuß Länge und 3 Fuß Breite ein, und brennen hier in 3 Gruppen, höchstens 2 Fuß hoch. Spallanzani ließ sie alle auslöschen, grub dann eine Vertiefung, erhielt hier eine Flamme von 8 Fuß Höhe und 5 Fuß Dicke, in welcher auf seinen Rath eine Zeitlang Kalk gebrannt wurde. In Modena und der Umgebung von Barrigazzo, z. B. Orto del Inferno, bei Vetta, bei Raina und bei Serra de' Grilli sind gleichfalls solche Feuer, an dem letzten Orte nur kleine, welche etwa einen Fuß hoch brennen und meistens erst entzündet werden müssen, aber das Gas entweicht stets. Aehnliche große und heftig brennende Feuer bei Velleia neben dem Flusse Chero beschrieb Volta zuerst 1784 als sehr groß und gewaltsam.

In Frankreich findet man bei der kleinen Stadt St. Barthelemi die sogenannte brennende Quelle der Dauphiné. Sie liegt nicht weit von Grenoble und hat ihren Namen vermuthlich daher, daß ehemals dort Wasser stand, aus welchem das entzündliche Gas aufstieg; jetzt ist kein Wasser dort, aber das aufsteigende Gas läßt sich entzünden und brennt dann weiter. Auch hiervon ist es also ausgemacht, daß brennendes Wasserstoffgas die Ursache ist. — In Ungarn gibt es mehre stets brennende Feuer, unter denen der Zugo bei Klein-Saros am bekanntesten ist.

In Lycien bei Phaselis brennt schon seit 2000 Jahren das Bergfeuer Yamar in einer Felsenspalte. — Die bekanntesten von mehren Reisenden beobachteten Feuer sind bei Baku, auf der Halbinsel Absheron

Digitized by Google

oder Abnheron am Caspischen Meere. Wenn man ein Loch in die Erde macht und ein Licht nähert, so entzündet sich das hervordringende Gas und erlöscht nicht eher, als bis man die Oeffnung mit etwas Erde bedeckt. Forster und Reineggs haben über die ganze Gegend von Baku und die merkwürdigen Feuer daselbst die interessantesten Nachrichten mitgetheilt. Die dieses eigenthümliche Phänomen zeigende Gegend beträgt zwei französische Quadratmeilen und liegt etwa drei Meilen vom Meere entfernt. Das Gas steigt am häufigsten aus einem dürren, steinigen Boden auf, wo ehemals ein altes Gebäude mit 12 indischen Priestern und andern Feueranbetern stand. Der Tradition nach soll dasselbe schon mehre Tausend Jahre gebrannt haben. Der Tempel war gewölbt, und wenn man den Ritzen in der Mauer ein Licht näherte, so entzündete sich eine Flamme und theilte sich den übrigen Ritzen mit, ließ sich aber leicht ausblasen. Am Boden befanden sich Gruben über denen gekocht wurde. Die Bewohner stecken ein Rohr in die Erde, halten ein Licht daran, und dann brennt das Gas so lange, bis die Flamme mit eigends dazu verfertigten Deckeln ausgelöscht wird. Es läßt sich auch Kalk darüber brennen. Als Ursache auch dieser Erscheinungen betrachtete Volta die Sumpfluft, Spallanzani Wasserstoffgas, Breislak zerlegtes Steinöl, und dieser Ansicht scheint auch Menard de la Groye beizupflichten, weil jene Gegenden so reich an Steinöl sind und außerdem von vulkanischer Beschaffenheit, so daß die innere Hitze die Zerlegung leicht bewirken kann.

Aehnliche Feuer findet man in Kurdistan bei Arbela, zu Chittagong in Bengalen und an andern Orten des asiatischen Continents. Auch auf Sumatra ist ein stets brennender Berg nebst vielem Steinöl. Hiermit vielleicht zusammenhängend sind die von mehren Orten, namentlich von Baku, etlichen in Ungarn, auch nach v. Humboldt von Cumana erwähnten Erscheinungen von Feuern, welche hauptsächlich des Nachts sichtbar aus der Erde sich zu erheben scheinen, aber selbst das dürre Gras nicht entzünden. *) Um eine Erklärung dieses Phä-

*) Von dieser höchst seltsamen Erscheinung des nicht brennenden Feuers erzählt Reineggs in der Beschreibung von Baku. Nach warmem Herbstregen, bei warm gebliebener Luft, stehen öfter die Felder der Umgegend in vollen Flammen. Zuweilen scheint es, als rolle das Feuer in großen Massen von Bergen herab, zuweilen aber verläßt es seine Stelle nicht. Es zündet nicht, man empfindet darin keine Wärme, trockenes Gras und Schilf werden nicht entzündet, und doch sieht man das Feuer deutlich, bloß durch einen bläulichen Schein unterschieden. Bei trockenem Ostwinde kennt man das Phänomen nicht, bei dunklen warmen Nächten dagen ist es am stärksten in den Ebenen, und die Berge ragen dann dunkel empor. Die Thiere der Caravanen erschrecken heftig vor demselben, es dauert aber bloß bis in die 4te Stunde der Nacht. In hellen Nächten, z. B. im October, bei Mondschein verschwindet das Feuer aus der Ebene, erleuchtet aber die Bergspitzen des Caucasus im Osten (bei Schirwan, westlich von Baku) und am meisten steht der Berg Soghdu-Ku (Berg des Paradieses) in diesem prachtvollen Feuer, wovon man in der Ebene nichts weiß.

nomens zu versuchens, sind die Beschreibungen desselben und der gesammten begleitenden Umstände noch nicht vollständig genug.

An diese Erscheinungen schließt sich vermuthlich die des brennenden Berges oder Hügels im Gebiete der Mursatarskischen Baschkiren, welcher um 1767 vom Blitze entzündet wurde und ohne vulkanische Auswürfe noch brannte, als ihn Pallas im Jahre 1770 beobachtete. Die aus demselben aufsteigende heiße Luft riecht gar nicht nach Schwefel und man darf daher keine brennende Steinkohlen dort voraussetzen, eher noch Steinöl, vielleicht Wasserstoffgas, womit jedoch der Umstand wenig übereinstimmt, daß das Feuer fortwährend mehr in die Tiefe hineingeht.

Feuerkugeln, sonst auch fliegende Drachen genannt, sind unabhängig von Tageszeiten, Jahreszeiten und Witterung erscheinende leuchtende Massen, die sich oft mit sehr bedeutender Geschwindigkeit fortbewegen, zugleich sich bei ihrer Bewegung nach der Erde zu senken, unbemerkt verschwinden oder mit großem Krachen platzen und Steinmassen herabfallen lassen, von denen im Art. Meteorsteine die Rede ist. Am nächsten verwandt scheinen die Feuerkugeln mit den Sternschnuppen zu sein, so daß sie sich von denselben nur durch die Größe unterscheiden

Die Höhe der Feuerkugeln läßt sich aus den Winkeln gegen den Horizont berechnen, in denen sie von zwei an verschiedenen hinlänglich entfernten Beobachtern gesehen werden; je höher eine Leuchtkugel über der Erde schwebt, über eine desto größere Landstrecke hin ist sie sichtbar. Die Höhe einer im J. 1719 beobachteten Feuerkugel soll 64 geogr. Meilen betragen haben, die einer anderen v. J. 1758 19 bis 22 deutsche Meilen, einer v. J. 1822 64 bis 100 franz. Meilen.

Die Geschwindigkeit der Feuerkugeln scheint um so größer, je weiter entfernt diese Körper von der Erde sind. Die Feuerkugel von 1758 soll in Einer Sec. 123915 Fuß zurückgelegt haben, wonach ihre Geschwindigkeit noch größer als die der Erde gewesen wäre. Die von 1719 (welche fast der Sonne gleich geleuchtet haben soll) legte in der Sec. 5 engl. Meilen zurück, u. s. w. Zuweilen ändern die Feuerkugeln plötzlich ihre Richtung, welches die Folge von Platzungen sein mag, die man auch einigemal gleichzeitig beobachtet hat.

Die Größe der feurigen Massen ist sehr verschieden, und namentlich hängt die scheinbare Größe sehr von der Entfernung, dem Lichtglanze, der Tageszeit u. s. w. ab. Einige gleichen großen Sternschnuppen, andere erscheinen so groß und größer als der Vollmond. Wie sie sich der Erde nähern nehmen sie an Größe zu. Aus der scheinbaren Größe kann man, wenn die Entfernung bekannt ist, auf die wirkliche Größe schließen, und, wenn auch bei der Schätzung einer leuchtenden Masse viele Irrungen möglich sind, so ist doch gewiß, daß die Masse der Feuerkugeln oft sehr bedeutend sein müsse. So schätzt Blagden den Durchmesser der Feuerkugel von 1783 auf ungefähr 2500 Fuß; eine andere von 1807 hatte mindestens 500 F. im Durchmesser. Hinter den Feuerkugeln erstreckt sich gewöhnlich ein leuchtender

Digitized by Google

Streifen, der allmählig an Glanz abnimmt und endlich in Rauch zu zerfließen scheint. Oft erblickt man noch mehre Secunden, ja Minuten lang nach dem Verschwinden der Feuerkugel einen leuchtenden Streif am Himmel, bei Tage zuweilen einen Nebelstreif. Das donneräbnliche bald stärkere (daß die Häuser beben) bald schwächere Krachen beim Zerplatzen wird, weil sich der Schall langsamer fortpflanzt, gewöhnlich erst einige Zeit nach dem Verschwinden des Meteores gehört. Die Zeitdauer der Erscheinung der Feuerkugeln ist sehr verschieden von einer halben Secunde bis zu mehren Minuten. Ich führe die Beschreibung einiger der merkwürdigsten Erscheinungen von Feuerkugeln an.

Die am 11. Dec. 1741 im südlichen England erschienene Feuerkugel ist vorzüglich dadurch merkwürdig, daß sie bei hellem Sonnenschein um 1 Uhr Mittags gesehen wurde. Ihr Licht wird von dem einen Beobachter wie eine feurige Kohle, von Milner dagegen, der in allen seinen Ausdrücken am meisten Sachkenntniß zeigt, völlig so hell als der Mond erscheint, wenn er mit der Sonne zugleich am Himmel steht, beschrieben. Sie erschien in Peckham etwas größer als der Vollmond, bewegte sich nicht ganz so schnell als die Sternschnuppen fortzugehen pflegen, sie ließ einen Schweif zurück, der weißer als die Feuerkugel selbst erschien, und dieser war anfangs schmal, an beiden Enden zugespitzt, aber nach und nach wurde er breiter und nach 20 Minuten zeigte sich dieser Ueberrest der Erscheinung ganz einer hellen, dünnen Wolke gleich, die etwa dreimal so breit als zu Anfang war und etwas höher über dem Horizonte stand, als gleich nach dem Verschwinden der Kugel. Die Feuerkugel selbst ging von Südwest nach Nordost, ihr Weg ging östlich an der Insel Whight vorbei, ungefähr über die Gegend von Canterbury. Ihre ganze Dauer wird zu 4 Sec. angegeben; sie verschwand mit einem sehr heftigen, doppelten Knalle, von welchem in einigen Gegenden der Grafschaft Suffex und in Canterbury die Häuser erbebten, und dieser Knall scheint nicht bis London hin und nicht bis zur Insel Whight hörbar gewesen zu sein.

1758 am 26. Nov. Abends um 8 Uhr erschien in England eine merkwürdige Feuerkugel. Pringle hat die Beobachtungen gesammelt und auf eine sehr passende Weise zusammengestellt, und obgleich nicht alle ganz in Uebereinstimmung sind, so kann man doch folgende Angaben als im Wesentlichen allen Beobachtungen entsprechend ansehen. Das Meteor muß in der Gegend von Cambridge zuerst entstanden oder leuchtend geworden sein. Dort sah man eine in weißem Lichte ungemein hell glänzende Kugel, etwa halb so groß im Durchmesser als der Mond, gegen Nord-Nordwest fortziehen. Als die Kugel noch 6 oder 7 Grade vom Horizonte war, schien der Schweif zu zerbersten, wobei das Licht blendend wurde; darauf verschwand der Schweif, und drei Sterne, die der Kugel folgten, zeigten sich. Der Glanz war so groß, daß man eine auf der Erde liegende Nadel hätte sehen können. Die Beobachtungen aus Manchester und Cockermouth in Cumberland bestätigen diese Umstände. In Carlisle sah man keine abgesonderte Kugel, sondern die ganze Masse scheint, als sie in diese Gegend gelangte, kegelförmig hinten zugespitzt gewesen zu sein. Auch hier erschien sie in dem hellsten

Digitized by Google

Glanze. Aus dem hintern Theile des Meteors hat man hier, so wie in Newcastle, Ducham, Dumfries, Funken hervorkommen gesehen, die nach einigen Nachrichten beim Herabfallen sich zerstreuten. Eine Minute nach dem Verschwinden (die Zeitbestimmung ist nicht ganz gleich bei den Beobachtern) hörte man in Carlisle zwei Explosionen gleich nach einander, welche Kanonenschüssen, aus ¼ deutschen Meile Entfernung gehört, ähnlich waren. Diese Explosion beschreibt ein Beobachter, der 15 engl. Meilen nordöstlich von Carlisle war, als ein furchtbares Krachen, lauter als der stärkste Kanonenknall, und sagt, daß dieses 6 bis 8 Secunden dauerte. Während des Fortziehens der Kugel wollten einige Beobachter ein Zischen gehört haben, da aber andere an eben den Orten es nicht hörten, so hält Pringle dieses für Täuschung. Aus den noch nördlichern Gegenden, namentlich aus Stitchill, 15 deutsche Meilen nordöstlich von Carlisle, wurde berichtet, daß man eine ungemein leuchtende Erscheinung gesehen und nachher einen lauten Donner gehört habe, aber einen eigentlichen Körper, der das Licht aussendete, habe man nicht gesehen. Pringle glaubt daher, daß, nachdem das Meteor zwischen Carlisle und Dumfries hingezogen war, es einige Meilen südlich von Douglas die Veränderung erlitten hatte, welche die Beobachter als ein Abbrechen des Schweifes beschreiben, aus welchem Funken hervorbrachen. Der Haupttheil, in den sich die Ueberreste des Schweifes sammelten, ging dann bis über Fort William, und bei Inverneß muß das Meteor nach einem Laufe von 400 englischen (90 bis 100 deutschen) Meilen verschwunden sein. Dennoch scheint dasselbe, obgleich es hier erloschen war, fortgezogen zu sein und sich noch einmal leuchtend gezeigt zu haben; denn in 58 Grad Breite an der Westküste der Grafschaft Roß sah man es recht glänzend, doch nicht der Sonne gleich, nach Süden fortziehen (der vorigen Richtung entgegen); das Licht glich dem Lichte des brennenden Weingeistes, die Kugel erschien hier ohne Schweif und ließ Funken von verschiedener Größe und Farbe herabfallen. Die Beobachtungen zeigten, daß es oberhalb Cambridge 20 bis 23 deutsche Meilen hoch war, oberhalb Fort William nur 6 bis 8 deutsche Meilen. Die Geschwindigknit des Meteors mußte über 6 deutsche Meilen in der Secunde sein.

Am 24. Juli 1790, Abends halb 10 Uhr, erschien zu Mormes im südlichen Frankreich eine Feuerkugel von so hellem Glanze, daß sie den Vollmond verdunkelte. Ihr Durchmesser war noch größer als der seinige, und sie zog einen Schweif hinter sich her, welcher 5 bis 6 mal so lang war als dieser Durchmesser. Nahe an der Kugel war er so breit wie diese, aber nach dem Ende hin nahm er allmählig ab. Sowohl die Kugel als der Schweif hatten ein weißes Licht; die Spitze des letztern war dunkelroth. Das Meteor wurde zu Mormes zuerst im Scheitelpuncte gesehen und nahm seinen Lauf nordwärts. Nach einigen Secunden theilte es sich in mehre immer noch beträchtliche Stücke, welche in verschiedenen Richtungen nach dem Horizonte herabfielen. Sie erloschen in der Luft und nahmen im Fallen die rothe Blutfarbe an, welche man an der Spitze des Schweifes bemerkt hatte. Ungefähr drei Minuten nach dem Zerspringen hörte man ein schreckliches donnerähn-

Digitized by Google

liches Getöse, wobei zugleich der Erdboden so heftig wie bei einem Erdbeben erschüttert wurde, Thüren und Fenster aufsprangen u. dgl. m. Dieses furchtbare Getöse dauerte an vier Minuten und verlor sich in ein dumpfes Geräusch, welches sich längs der benachbarten Gebirgsketten als dumpfer Wiederhall zu verlieren schien. Zugleich verbreitete sich ein starker Schwefelgeruch und erhob sich ein frischer Wind. An der Stelle, wo die Feuerkugel verschwunden war, bemerkte man ein kleines weißliches Wölkchen. Die Zeit, welche zwischen dem Zerspringen der Kugel und dem darauf folgenden Getöse verfloß, ließ auf die Entfernung des Meteors schließen, und man vermuthete, daß es in einer Höhe von etwa 8 Meilen zersprungen und die Trümmer etwa 4 Meilen von Mormes niedergefallen sein möchten. Bald ward diese Vermuthung durch die Nachricht von einem Steinregen bestätigt, welcher um die nämliche Zeit zu Juliac und Barbotan, wovon jenes 4 Stunden nördlich, und dieses 5 Stunden nordöstlich von Mormes lag, gefallen war. In einer kleinen Entfernung von Juliac mußte das Meteor wohl zersprungen sein, denn dort bedeckten die Steine in einem fast kreisförmigen Raume von ungefähr zwei Meilen im Durchschnitt ein wenig bebautes Haideland, nur wenige waren bei einigen Häusern in Höfen und Gärten gefallen, wehre aber hatten Bäume in den Wäldern niedergeschlagen. Ihre Schwere betrug zum Theil 18, 20 bis 50 Pfund, ein gegen den Umfang sehr auffallendes Gewicht. Auswendig waren sie mit einem verglasten, schwärzlichen Eisenkalk überzogen, inwendig hatten sie ein graulicheres Ansehen und viele kleine, glänzende, metallische Punkte. Am Stahle gaben sie Funken. Einige waren ganz verglaset. Das Niederfallen dieser Steine war mit einem starken Gezisch begleitet, so wie man auch beim Laufe der Feuerkugel ein Geräusch und Knistern gehört hatte. Dieses nämliche Meteor wurde auch zu Bayonne, Auch, Pau, Bordeaux und Toulouse gesehen. Am letzten Orte erschien es nicht stärker als eine der größten Sternschnuppen; man hörte aber auch hier nach dem Zerspringen ein donnerähnliches dumpfes Getöse.

Die Fortsetzung dieses Artikels, namentlich in Bezug auf Entstehung der Feuerkugeln, Beschaffenheit ihrer Masse, s. im Art. Meteorsteine.

Feuerzeug nennt man jede Vorrichtung zu schneller Hervorbringung von Feuer. Ein leicht entzündlicher Körper wird zum Glühen oder zum hellen Brennen gebracht. Da überhaupt der Brennungsproceß auf sehr vielfache Weise eingeleitet werden kann, und es viele leicht entzündliche Stoffe gibt, so ist auch die Zahl der verschiedenen Feuerzeuge sehr groß und ich werde daher nur die gebräuchlichsten und bequemsten kurz beschreiben und erklären.

Das allergewöhnlichste Feuerzeug besteht aus Stahl, Stein und Schwamm, die Habung desselben ist allgemein bekannt. Die Funken, welche durch das Herunterschlagen des Stahls am Steine entstehen, sind (wie Betrachtung durch das Mikroskop lehrt, wenn man sie auf einem untergelegten Papiere auffängt) Stückchen Stahl, welche durch das bei der heftigen Reibung entbundene Feuer glühend geworden, zu-

Digitized by Google

weilen mit Theilchen des Steines zusammengeschmolzen oder verschlackt sind. Sie erscheinen unter dem Mikroskope als kleine Kügelchen. Da sie sich beim Abspringen vom Stahle sehr schnell bewegen, so erscheint der von ihnen zurückgelegte Weg einen Augenblick leuchtend, so daß sich die Funken als Fäden von einiger Länge darstellen. Der leicht entzündliche Fangschwamm oder irgend ein anderer leicht entzündlicher Stoff (faules Holz, verkohlte Leinewand, Pulver) beginnt durch die auf ihn fallenden glühenden Stahltheilchen zu glimmen.

Die sogenannten chemischen Feuerzeuge bestehen aus einem Fläschchen, in welchem sich Schwefelsäure befindet, und den Zündhölzchen, welche, mit der Schwefelsäure in Berührung gebracht, sogleich sich entzünden. Die Bereitung der Zündhölzchen ist folgende. Nachdem die Hölzchen (von einem leicht brennbaren Holze) die gehörige Form erhalten, taucht man sie mit dem einen Ende in flüssigen Schwefel. Hierauf wird ein Gemenge von 4 Theilen chlorsauren Kali's und 1 Theil Goldschwefel oder Zinober, oder 4 Theilen chlorsauren Kali's, 1 Theil Kohle und 1 Theil Schwefel mit etwa $\frac{1}{24}$ des Ganzen Tragantpulver und Wasser zu einem Brei angerieben, oder es wird ein Gemenge von 6 Theilen chlorsauren Kali's 1 Theil Zucker und ein wenig Zinober mit Wasser zu einem Brei angerieben. Bei dem Reiben dieser Gemenge muß man sich hüten, sie trocken zu reiben, denn in diesem Falle kann leicht eine gefährliche Entzündung und Explosion entstehen. In das erhaltene Gemisch werden die Schwefelhölzer mit ihrer Spitze eingetaucht, worauf man sie trocknen läßt. So wie man ein solches Hölzchen mit seiner präparirten Spitze in Berührung mit Schwefelsäure bringt, enzündet sich das chlorsaure Kali, theilt die Entzündung dem Schwefel und sofort dem Holze mit. Da hierbei ein Spritzen des Kali's und der Schwefelsäure stattfindet, so muß man sich hüten, zuviel Schwefelsäure mit dem Kali in Berührung zu bringen, indem die herumgespritzte Säure wegen ihrer ätzenden Eigenschaften sehr nachtheilig wirkt, und da eine sehr geringe Quantität Schwefelsäure zu Entzündung des chlorsauren Kali hinreicht, so pflegt man allgemein das zum Feuerzeug zu benutzende Fläschchen nicht unmittelbar mit Schwefelsäure zu füllen, sondern man füllt es zum Theil mit fein gefasertem Asbest und benetzt diesen mit einigen Tropfen Schwefelsäure, und gibt ihm am besten einen wohl schließenden Glasstöpsel. Das Feuerzeug wird unbrauchbar, wenn die Schwefelsäure verbraucht ist (welche dann leicht ersetzt werden kann), so wie, wenn die Schwefelsäure aus der Luft zu viel Wasser angezogen hat. Man gieße in diesem Falle die im Fläschchen vorhandene Flüssigkeit weg, gebe einige Tropfen Schwefelsäure hinein, welche sogleich das im Fläschchen noch enthaltene Wasser absorbirt, gieße auch diese Schwefelsäure wieder ab und gebe endlich von neuem wenige Tropfen auf den Asbest.

Die Phosphorfeuerzeuge werden bereitet, indem man einige trockene Phosphorstangen in ein kleines etwas hohes Cylinderglas mit enger Oeffnung bringt. Das Glas wird im Sandbad etwas erhitzt, und einige Minuten Luft durch ein Löthrohr in die Oeffnung geblasen, bis die Wandungen des Glases dicht mit rother Phosphorsubstanz be-

Digitized by Google

deckt sind, worauf man bis zum Erkalten mit einem Glasstab umrührt und dann das Glas verstopft. Der Phosphor brennt und verwandelt sich hier zum Theil in Phosphoroxyd und phosphorichte Säure, welche mit feinzertheiltem Phosphor gemengt sind. Stößt man mit einem Schwefelhölzchen etwas ab, so entzündet sich dieses beim Herausnehmen an der Luft, indem der Phosphor, durch diese Substanzen sehr fein zertheilt und aufgelockert, der Luft viele Oberfläche darbietet und so schnell das rasche Verbrennen eingeleitet wird. Die Flaschen müssen wohl verstopft bleiben.

Das pneumatische Feuerzeug (v. d. griech. πνεῦμα Luft) oder Tachopprion (v. d. griech. ταχύς schnell und πῦρ Feuer) ist eine Vorrichtung, bei welcher durch schnelle Zusammenpressung der Luft leicht brennbare Körper entzündet werden. Es besteht im Allgemeinen aus einem kleinen auf der einen Seite geschlossenen, auf der anderen offenen hohlen Cylinder, in welchen ein genau passender Kolben an einem eisernen Stiele herauf und hinunterbewegt werden kann. Nach dem Hinunterstoßen muß aber der Kolben mit seiner unteren Fläche noch in einiger Entfernung von dem Grunde des Cylinders abstehen. Auf der unteren Fläche hat der Kolben ein kleines Häkchen, an welches beim Gebrauche des Instrumentes ein Stückchen Schwamm befestigt wird. Der Kolben wird so schnell als möglich herabgestoßen und eben so schnell wieder herausgezogen, damit der glimmende Schwamm nicht wieder verlösche, nachdem er den geringen Gehalt von Sauerstoffgas in der comprimirten (zusammengepreßten) Luft nach wenig Augenblicken verzehrt hat.

Muncke theilt folgende Beschreibung der von Dumoutiez in Paris verfertigten Tachopprien mit. Der hohle gläserne Cylinder (Fig. 154.) aa ist 8 bis 10 Z. lang, 2 bis 3 Lm. im Lichten weit und von 2 bis 3 Lin. Glasesdicke, wobei sich von selbst versteht, daß diese Maße nur die mittleren sind und hierüber keine feste Norm besteht. Der Cylinder wird vermittelst einer kupfernen Regel mit Schmirgel warm ausgeschliffen, um genau cylindrisch zu sein, bei welcher Operation schlecht gekühltes Glas leicht zu zerspringen pflegt, dann wird er oben mit einer messingenen Fassung und dem buchsbaumenen Knopfe b völlig luftdicht verschlossen, jedoch meistens so, daß man den Knopf abschrauben und somit auch das obere Ende öffnen kann, und am unteren Ende wird gleichfalls eine messingene Fassung angebracht. Der Embolus ist 1,25 bis 1,5 Zoll lang, mit Leder überzogen und geölt, endigt oben in einen messingenen Ring so, daß eine Vertiefung entsteht, in welche ein Stück Schwamm gebracht werden kann, und damit dieser den Boden des Cylinders beim Hineinstoßen des Embolus nicht berührt, ist in der messingenen Fassung des hölzernen Griffes bei cc ein Stück Kork angebracht, welches den etwaigen Stoß gegen das Ende des Cylinders minder hart macht.

Bei den Versuchen mit Tachopprien kommt es nicht sowohl darauf an, daß der Kolben durchaus fest an die innere Wandung des Cylinders anschließe, so daß bei der Compression durchaus keine Luft entweichen kann, sondern, wie die Erfahrung gezeigt hat, darauf, daß das Herabstoßen des Kolbens mit möglichster Geschwindigkeit geschehe.

Digitized by Google

Das elektrische Feuerzeug oder die elektrische Lampe, Zündlampe, beruht auf der Thatsache, daß Wasserstoffgas bei Gegenwart von Sauerstoffgas durch den elektrischen Funken entzündet werde. Indem ich die jetzt nicht mehr gebräuchlichen, unbequemen Einrichtungen übergehe, welche man früher diesem Instrumente gab, erwähne ich nur die jetzt gebräuchlichen Vorrichtungen, bei denen das verbrauchte Wasserstoffgas stets aufs neue wiedererzeugt wird.

Fig. 155. stellt eine elektrische Lampe dar. D ist ein bei G offenes Gefäß (gewöhnlich von Glas), welches bei G eine es umschließende messingene Fassung hat. Durch den Deckel dieser Fassung reicht das gläserne Gefäß E mit seiner röhrenförmig auslaufenden Mündung in das untere Gefäß D etwa bis zu $\frac{1}{3}$ der Höhe desselben. Auf die Röhre ist etwas über ihrem Ende ein Cylinder von Zink oder aufgerolltem Zinkblech J geschoben, welcher durch einen unter ihm über die Röhre getriebenen Korkring vor dem Herabgleiten gesichert wird. In die Fassung G, welche luftdicht auf der Mündung von D ruht, und in welcher ebenfalls luftdicht oberhalb E eingebracht ist, ist die metallene Röhre K luftdicht eingeschraubt. K ist mit einem Hahn versehen, der so durchbohrt ist, daß er in der von der Zeichnung angegebenen Stellung die Röhre luftdicht schließt, nach einer Viertelsdrehung aber die Röhre öffnet; auf die Mündung dieser Röhre ist die durchbohrte feine Spitze L geschraubt.

Das Gefäß D steht auf dem wohlverwahrten hölzernen Kasten A, und wird durch den es rings umgebenden Messingring x vor dem Herausgleiten aus der festen Stellung bewahrt. Im Kasten befindet sich ein Elektrophor, welcher aus dem Kuchen cc (welcher am passendsten ein gepreßter ist, wie ihn Pfaff angegeben hat, s. d. Art. Elektrophor S. 245.) und aus dem auf dem Kuchen liegenden Deckel besteht. Dieser ist eine mit einem Rande versehene Blechplatte, welche in der Mitte eine Fassung b hat, in welche eine Glasstange oder ein Spiegelglasstreifen eingekittet ist. Dieser isolirende Glasstreifen hat am anderen Ende eine metallene Fassung mit zwei runden, in einer horizontalen Ebene liegenden Stiften, welche sich in zwei Löchern oder bloß Gabeln der beiden Stützen g'g' drehen lassen. Wird daher der Draht c'f angezogen, so hebt man zugleich den Deckel durch den genannten Glasstreifen isolirt in die Höhe. Vom Rande des Kuchens geht über diesen so weit hin ein Stanniolstreifen, daß, wenn der Deckel auf dem Kuchen liegt, Form und Deckel in metallischer Verbindung ist, dann nämlich hat man, nachdem der Kuchen gepeitscht worden, nicht erst nöthig, durch die Hand Deckel und Form in leitende Verbindung zu setzen, sondern man erhält sogleich aus dem aufgehobenen Deckel einen Funken. *) An dem Ende des Hahnes K, welches dem Handgriffe entgegensteht, ist der messingene Fortsatz o angebracht, welcher eine kurze Glasröhre trägt. Das Ende dieser Glasröhre ist mit einem messingenen Haken a' versehen und an diesem der feine Kupferdraht c'f

*) S. d. Art. Elektrophor.

befestigt, welcher von der Glasröhre g isolirt durch den Deckel des Kastens A geht und bei h an einen Haken des Elektrophordeckels befestigt ist. Die Einrichtung muß so getroffen sein, daß, wenn man dem Hahne K eine Viertelsumdrehung gibt, a' der Spitze L gegenüberzustehen kommt, zugleich der Elektrophordeckel gehoben wird.

Um nun die elektrische Zündlampe zum Gebrauche fertig zu machen, hebe man das Gefäß E aus dem unteren Gefäße D heraus, fülle D bis nicht ganz an seinen oberen Rand mit einer Mischung von 12 bis 18 Theilen Wasser auf 1 Theil concentrirter Schwefelsäure, und senke hierauf (während der Hahn K geschlossen bleibt) E mit luftdichter Schließung in D ein. Sogleich entwickelt sich durch Einwirkung des gesäuerten Wassers auf das Zink I Wasserstoffgas, welches aufsteigend, da es nicht entweichen kann, das Wasser herab und in das Gefäß E durch die Mündung oberhalb des Buchstabens D drängt. Das Gefäß E darf oben gar nicht oder doch nicht luftdicht verschlossen sein, damit die Luft in ihm dem aufsteigenden Wasser Platz machen kann. Die Gasentwickelung und das Steigen des Wassers in E dauert so lange, bis das Wasser im Gefäße D unterhalb des Zinkes I steht. E muß daher groß genug sein, um die ganze vorher in D oberhalb des unteren Endes von J befindliche Wassermenge bequem zu fassen. Hierauf nimmt man den Kuchen des Elektrophor aus dem Kasten A, peitscht ihn mit einem Fuchsschwanze und setzt ihn wieder an seinen Ort. Nun ist der Apparat zum Gebrauche fertig. Dreht man nämlich den Hahn K, *) so strömt aus der Spitze L mit Gewalt Wasserstoffgas, weil das Wasser in E mit seiner ganzen Schwere auf das Gas drückt; zugleich schlägt, weil der geladene Deckel des Elektrophors gehoben, ein elektrischer Funke zwischen der Spitze L und a' über und entzündet das Gas, welches fortbrennt, bis der Strom desselben durch Schließung des Hahnes K wieder abgeschnitten wird. Der Mündung L gegenüber kann man ein Licht anbringen, welches durch das brennende Gas entzündet wird, worauf der Hahn K sogleich wieder geschlossen werden kann. Beim Gebrauch des Instrumentes erhebt sich natürlich das Wasser wieder über J, aber gleich nach Schließung des Hahnes wird es durch das neu sich bildende Gas, welches nicht mehr entweicht, wieder herabgedrückt.

Diese elektrischen so wie die sogleich zu beschreibende **Döbereiner**schen Zündlampen haben vor allen übrigen Feuerzeugen den Vorzug, daß man, wenn sie einmal in Gang gebracht sind, jederzeit mit den geringsten Umständen aufs schnellste eine lebendige Flamme erhalten kann, auch den üblen und nachtheiligen Geruch des Schwefels vermeidet; sie sind indeß weniger leicht transportirbar als die meisten der übrigen Feuerzeuge. Es dauert Monate, ehe es nöthig wird die Füllung des Apparates zu erneuen und auch der Elektrophor behält sehr lange nach einmaliger Peitschung seine funkengebende Kraft. Noch geschmackvoller, leichter her-

*) Es muß eine Vorrichtung angebracht sein, daß der Hahn bei der Drehung nur eine Viertelsumdrehung macht.

Digitized by Google

zustellen und compendiöser ist eine andere Einrichtung, welche man der elektrischen Lampe geben kann, indem die beiden Gefäße nicht über einander, sondern in einander gestellt zu werden brauchen. Da sich die Döbereinersche Lampe nur in Bezug auf den eigentlichen Zündapparat, nicht aber in Hinsicht der Vorrichtung zu Entwicklung und Ausströmung des Gases von der elektrischen Lampe unterscheidet, so werde ich diese zweite Einrichtung bei jener beschreiben, und wenige Ueberlegung wird zeigen, wie man sowohl diese zu erwähnende Einrichtung auch bei der elektrischen Lampe anbringen, als auch eine der eben beschriebenen entsprechende Einrichtung der Döbereinerschen Lampe geben könne.

Die nach ihrem Erfinder benannte **Döbereinersche Lampe** beruht auf der Erfahrung, daß fein vertheilter Platin durch die atmosphärische Luft auf ihn strömendes Wasserstoffgas zu entzünden im Stande sei. Die jetzt gebräuchliche Einrichtung dieser Lampe ist folgende. Fig. 156. stellt sie dar. A ist ein gewöhnliches etwas weites cylindrisches Glas, etwa 6 Zoll hoch und 4 Zoll im Durchmesser haltend, oben offen, unten geschlossen. Auf demselben liegt ein metallener mit einem über das Glas greifenden Rande versehener Deckel, aber ohne luftdichte Schließung. In der Mitte hat dieser Deckel eine Oeffnung, durch welche ein Metallzapfen eingebracht ist, der seiner Länge nach durchbohrt ist, oberhalb aber hat derselbe eine zweite weitere auf der ersten senkrecht stehende Durchbohrung, welche dazu bestimmt ist einen Hahn aufzunehmen. Dieser Hahn besteht in einem genau in die größere cylinderförmige Durchbohrung des ersten Metallstückes eingeschliffenen cylindrischen Stücke, welches ebenfalls eine doppelte Bohrung hat, so nämlich, daß von beiden in einander übergehenden und nur bis zu dieser Vereinigung fortgesetzten Bohrungen die eine senkrecht auf der andern steht. Der Hahn paßt so in das durch den Deckel in das Glas reichende Metallstück und auf dessen Bohrung, daß er sowohl diesen letzten Kanal fortzuführen als abzuschließen dient, je nachdem man ihn dreht. Auf der einen Seite ist der Hahn mit einem kurzen (aufgeschraubten) Aufsatze versehen, der eine sehr feine Bohrung hat, auf der anderen Seite statt des Griffs mit einem Drücker, der durch eine auf den kürzeren seiner beiden Arme wirkende Metallfeder niedergehalten wird und in dieser Stellung Schließung des angeführten Kanals bewirkt, bei einem Gegendruck des Fingers auf den längeren Arm aber den angegebenen Kanal öffnet. Auf das durch den Deckel gehende Metallstück ist nun ferner innerhalb des Glases A ein zweites Glas B, welches glockenförmig unten und oben offen ist, mit seinem Halsende geschoben und festgekittet. Dieß Glas B muß um so viel kleiner als A sein, daß es nach allen Seiten hin etwa ein Zoll von dessen inneren Wandungen absteht. Der durchbohrte Metallzapfen mündet nun in das innere Gefäß B, unterhalb seiner Mündung befindet sich eine Oese und in dieser hängt der unten ein Kreuz tragende starke Draht a, auf dem Kreuze ruht ein durchbohrtes über den Draht geschobenes Zinkstück z, die Länge des Drahtes darf nur so groß sein, daß die untere Fläche des Zinkes noch etwas oberhalb der unteren Mündung des Gefäßes B

Digitized by Google

steht. Der seinen Oeffnung des Hahnes h gegenüber, in einer Entfernung von etwa einem Zolle, ist das gegen die Oeffnung des Hahnes offene metallene Kästchen k, in welchem sich an feinen Platinfäden einiger Platinschwamm befindet.

Um nun den Apparat zum Gebrauch in Stand zu setzen, füllt man das Gefäß A, nach Abhebung des Deckels mit dem Gefäße B, etwa bis zu ⅔ seiner Höhe mit einem Gemisch von 1 Theil concentrirter Schwefelsäure auf 12 bis 18 Theile Wasser *) und setze den Deckel auf das Glas. Das innere Gefäß ist mit atmosphärischer Luft gefüllt und läßt daher das Wasser nicht eintreten; so wie man aber den Hahn h öffnet, drängt das Wasser, welches in äußern und inneren Gefäße in gleiches Niveau zu treten strebt, die Luft aus dem inneren Gefäß. Sowie das Wasser mit dem Zink in Berührung kommt, bildet sich überdieß noch Wasserstoffgas, welches, wenn endlich alle atmosphärische Luft vertrieben und der Hahn h wieder geschlossen ist, das Gefäß B ganz erfüllt, das Wasser aus demselben zurückdrängt, bis es außer Berührung mit dem Zink kommt und die Gasentwickelung aufhört. Oeffnet man jetzt wieder den Hahn, so strömt mit Gewalt (wegen des Druckes des Wasses) Wasserstoffgas heraus und auf den Platin in k, welcher erst roth glühend wird, bis sich das Gas an ihm entzündet, alsbald nach der Entzündung aber wie ausgelöscht erscheint. Das verlorengegangene Gas ersetzt sich sogleich wieder und man kann den Versuch immer aufs neue wiederholen. Da bei der Vertreibung der atmosphärischen Luft aus dem Gefäße B sogleich wie das Wasser mit dem Zink in Berührung kommt Wasserstoffgas sich bildet, so bildet sich anfangs in B ein Gemisch aus atmosphärischer Luft und Wasserstoffgas, Knallluft, bekanntlich ein sehr leicht entzündliches und mit der größten Gewalt explodirendes Gemisch. Sobald dieses aus h auf den Platin in k strömt, wird es sich entzünden und dieses kann eine gefährliche Explosion verursachen, wenn das Gas durch den Hahn in B zurückbrennt. Dieß wird nun zwar niemals stattfinden, wenn die Mündung des Hahnes gegen den Platin, wie sie sein soll, sehr eng ist; da das Auffatzstückchen mit der engen Oeffnung bei der eben beschriebenen Einrichtung aber nur sehr kurz ist, so wird es immer der Vorsicht wegen nöthig sein, bei der ersten Oeffnung des Hahnes, bis man überzeugt ist, daß alle atmosphärische Luft aus B vertrieben ist, mit einem Papierchen die Oeffnung von k gegen h bedeckt zu halten, so daß keine Entzündung am Platin stattfinden kann.

Eine noch einfachere Einrichtung der Döbereinerschen Zündlampe ist die von Fyfe angegebene, welche sich durch Kleinheit und Wohlfeilheit empfiehlt. Diese Lampe besteht aus einer bloßen gebognen Glasröhre von etwa einem Zoll (Fig. 157.) Weite, welche durch Einlassen in den hölzernen Fuß B mit beiden Schenkeln aufwärts gestellt

*) Bei Bereitung dieser Mischung muß man ganz allmählig die Schwefelsäure in das Wasser gießen, nicht aber umgekehrt das Wasser in die Schwefelsäure, weil sonst leicht eine Explosion stattfinden kann.

Digitized by Google

ist. Der längere Schenkel wird etwa 8, der kürzere 3 Zolle lang genommen, ersterer mit einem beweglichen Deckel bedeckt, letzterer aber mit einer messingenen Fassung versehen, welche einen Hahn D und eine feine Spitze f für das aus ihr strömende Wasserstoffgas hat. Um dieses zu erzeugen, wird die Röhre mit verdünnter Schwefelsäure (1 Theil Säure mit 12 bis 18 Theilen Wasser) so gefüllt, daß sie bis nahe an die messingene, vorher abgeschraubte Fassung reicht, dann ein Stück Zink G hineingeworfen und, daß dieses nicht bis in die Biegung herabfalle, durch das Stück Glasröhre H verhindert. Ist alsdann die Fassung luftdicht wieder aufgeschraubt, so füllt sich der kürzere Schenkel mit dem aus der Säure und dem Zink entbundenen Wasserstoffgase, dieses drückt die Säure in dem längeren Schenkel hinauf, bis das Zink mit ihr außer Berührung kommt, und wird dann selbst durch die höhere Säule der Flüssigkeit im längeren Schenkel so weit zusammengedrückt, daß es nach Oeffnung des Hahns D aus der Spitze f ausströmt. Indem letzteres geschieht, kommt es, mit etwas Sauerstoffgas der umgebenden atmosphärischen Luft gemengt, in Berührung mit dem Platinschwamm bei F, welcher, an einem Platindrahte befestigt, durch den Träger L von einem um die Glasröhre gelegten Ringe getragen wird. Der Träger L ist ein Cylinder und um den Platinschwamm gegen die Einwirkung der äußern Luft zu schützen, welche seine Zündungskraft vermindert, hängt an einer kleinen Kette I, der Deckel K, welcher nach dem Gebrauche über den Platinschwamm geschoben und auf dem Cylinder L festgesteckt wird. Ist die Säure durch aufgelösten Zink gesättigt, so gießt man sie nach weggenommenem Deckel aus dem längeren Schenkel aus und füllt durch diesen neue ein, bis allmählich das Zink verzehrt worden ist und durch neues ersetzt werden muß.

Offenbar hat die Döbereinersche Lampe vor der elektrischen den Vorzug der größeren Einfachheit, und sie ist daher jetzt auch in ausgebreitetem Gebrauch. Ueber den bei ihr sich zeigenden Einfluß des Platin, so wie über die Bereitungsart desselben in der hier erforderlichen Gestalt, s. d. Art. Platin.

Figurabilität (v. d. lat. figura Gestalt) eine wesentliche allgemeine Eigenschaft der Körper (s. d. Art. Eigenschaft). Alle Körper, welche wir wahrnehmen, befinden sich im Raume und sind darum ausgedehnt, aber da keiner unendlich, den ganzen Raum erfüllend ist, so muß auch jeder Körper Grenzen haben, welche seine Gestalt oder Figur bedingen, und diese Eigenschaft aller Körper, eine Figur zu haben, heißt ihre Figurabilität. Einige Körper haben eine ihnen unabhängig von den Umgebungen zukommende Gestalt, es sind dieses die festen Körper, und zwar zeigen einige eine auffallend große Regelmäßigkeit in ihrer Figur (wie die Krystalle), bei anderen können wir mit unbewaffneten Sinnen eine solche Regelmäßigkeit nicht wahrnehmen, wohl aber wenn wir dieselben durch Mikroskope hinlänglich vergrößert erblicken. Eine andere Klasse von Körpern (die flüssigen, wie Luft und Wasser) haben keine selbstständige Gestalt, sondern richten sich bei Annahme der einen oder der anderen Gestalt allemal nach ihren Umgebun-

Digitized by Google

gen, wobei die gas- oder luftförmigen (ausdehnsam flüssigen) noch das besondere Bestreben zeigen, den Raum so weit zu erfüllen, als ihnen irgend durch die Umgebungen gestattet ist.

Figuren, Lichtenbergsche, sind Zeichnungen, welche man unter gewissen Umständen durch den Einfluß der Elektricität erhält, und welche zuerst Lichtenberg im J. 1777 entdeckt und herzustellen gelehrt hat. Zu Herstellung dieser Figuren kann man sich jeder Tafel aus einer isolirenden Substanz bedienen, am passendsten aber ist es, kleine Glastafeln auf einer oder beiden Seiten mit einer dünnen Harzschicht zu überziehen. Zu diesem Ende kann man das Harz in Pulverform auf die Glastafel streuen und diese sodann erhitzen, wobei sich die gewünschte dünne Harzschicht bildet. Auf eine solche Tafel setze man einen Ring von Metall, welcher sich in eine Kugel oder Spitze endigt (oder eine kleine metallene Glocke) lasse einen Funken positiver Elektricität (aus einer pos. geladenen Leidner Flasche) in den Metallring schlagen, hebe denselben mit der Hand ab und bepudere die Tafel mit feinem Harzstaube, so werden sich die feinen Harztheilchen zu einer Figur vereinen, ungefähr wie Fig. 158. sie darstellt, einer Sonne ähnlich, deren Strahlen in unzählige Verästelungen verlaufen. Hebt man den Metallring nicht unmittelbar mit der Hand, sondern mittelst eines isolirenden Körpers (z. B. einer Glasstange) ab, so fehlt in der Figur der schwarze Ring, von welchem die Strahlen ausgehen. Eine ganz verschiedene Figur, ähnlich Fig. 159., aber erhält man, wenn man dem Metallringe statt eines positiv einen negativ elektrischen Funken ertheilt. Es erscheinen keine Strahlen, sondern einen Mittelfleck concentrisch umgebende Kreise.

Dieses sind die einfachsten Weisen die Lichtenbergschen Figuren zu erhalten, welche sich nun sehr vielfach modificiren lassen, demgemäß denn auch eine große Mannigfaltigkeit der Figuren entsteht; immer aber bleibt der Charakter der durch pos. Elektr. erzeugten Figuren Strahlen nach Außen in den feinsten Verästelungen, der der neg. Elektr. Abrundung ohne besondere Seitenausstrahlung. Man kann z. B. auf einen Metallring eine Gummilacktafel stellen, und auf diese, gegenüber dem unteren Metallring, einen zweiten Ring, dann dem letzteren einen positiven Funken ertheilen, so erhält man nach dem Bepudern auf der oberen Seite eine positiv, auf der unteren eine negativ elektrische Figur. Wischt man mit einer Feder die Figuren ab, so erzeugen sie sich bei nochmaligem Aufstreuen von Staub nach geraumer Zeit noch aufs Neue. Um die der Harztafel ertheilte Eigenschaft, den Harzstaub auf ihr nach bestimmten Figuren zu ordnen, gänzlich zu rauben, ist es das beste sie umzuschmelzen, welches sehr bequem bei den oben angeführten mit Harz überzogenen Glastafeln angeht.

Wenn man eine Leidner Flasche auf einen Harzkuchen stellt und ihre innere Seite positiv ladet, so wird ihr Umfang auf dem Harzkuchen mit Harzstaub bepudert einen schönen mit Strahlen eingefaßten Kreis (eine positive Figur) darstellen; ladet man hingegen die Flasche negativ, so wird der Umfang mehr mit runden Figuren (negativen Figuren),

Digitized by Google

Kreisen und Ellipsen umgeben sein. Stellt man die Lichtenberg'schen Figuren unter der Glocke der Luftpumpe im fast luftleeren Raume an, so breiten sich die Figuren sehr aus, die Strahlen erhalten dann eine drei bis viermal so große Länge, haben auch eine größere Breite und in der Mitte gleichsam eine feine Rippe, welche frei von Harzstaub ist, während die concentrischen Ringe (der negat. Fig.) nur eine einzige breitere kreisförmige Umgebung bilden, welche durch einen schmalen, von Staub freien Ring von einem mittleren bestaubten Flecke getrennt ist.

Statt des Harzpulvers, welches nach Lichtenberg's Erfahrungen die schönsten Figuren gibt, kann man sich auch anderer Pulver bedienen, z. B. der Pulver von Zucker, Stärkemehl, Vitriol, gewöhnlichem Mehl, Braunschweiger Grün, des feinsten Eisenfeilichts und Messingfeilichts. Man bringt das aufzustreuende Pulver in ein Läppchen feiner Leinewand und siebt es durch die Zwischenräume des Gewebes durch.

Die Figuren bilden sich dadurch, daß die verschiedenen elektrischen Theile des Täfelchens gemäß den Gesetzen der Elektricität die durch das Durchsieben, die Reibung an den Leinwandfäden, an einander und an der Luft elektrisch gewordenen Pulvertheilchen anziehen. Daß auch die Pulver elektrisch werden, und dieß von Einfluß auf die Bildung der Figuren sei, beweisen Deluc's Versuche, nach denen man nur undeutliche Figuren erhält, wenn man das Pulver durch weitgewebte Leinwand schüttet, sehr scharf ausgebildete dagegen, wenn man das Pulver durch enggewebte Leinwand gehen läßt. Auch sieht man den Einfluß der Elektricität der Pulver aus folgendem Versuche. Man beschreibe mit dem Haken einer Leidner Flasche auf einer Harzfläche, die erst positiv, dann negativ elektrisch geladen wurde, verschiedene Züge, und bepudere dann die Fläche mit einem Gemenge von Mennige und Schwefelblumen. Die positiven Züge nehmen dann nur die Schwefelblumen an und man erkennt sie an den den pos. elekt. Figuren eigenthümlichen Strahlen und Verästelungen, während die negativen Züge durch die Mennige als rothe Paternosterknöpfchen erscheinen.

Von mehren Physikern, namentlich von Deluc, sind zu Bestätigung ihrer Theorien vom Wesen der Elektricität sehr sorgfältige Versuche angestellt worden über die mannigfachen Abänderungen, welche die Lichtenbergschen Figuren unter den jedesmaligen Umständen erleiden.

Filtriren (lateinisch, Durchseihen) ist die vollständigste Art des Durchseihens (s. d. Art.), wo von einer Flüssigkeit die in ihr enthaltenen festen Körper vollkommen abgeschieden werden. Der Proceß des Filtrirens wird sehr häufig zu technischen, pharmaceutischen und ökonomischen Zwecken vorgenommen. Das Filtrum, der Seiher oder Durchseiher ist bei geringeren Quantitäten der zu filtrirenden Materie gewöhnlich Löschpapier oder Fließpapier (s. d. Art. Durchseihen). Da das gewöhnliche graue Löschpapier nicht selten mit schädlichen Metalltheilen verunreinigt ist, so bedient man sich in den meisten Fällen besser des weißen ungeleimten Druckpapiers. Zu größeren Filtrirappa-

Digitized by Google

raten nimmt man Leinwand, wollene Zeuge, Haarsiebe, Filze, die gewöhnlich eine spitz zulaufende tütenförmige Gestalt erhalten.

Um bedeutende Quantitäten Flüssigkeiten durch kleine Filtra zu filtriren, ohne immer aufs Neue nachgießen zu müssen, haben Bischoff und L. Gmelin zweckmäßige Vorrichtungen erdacht. Letztere besteht darin, daß man auf das mit Flüssigkeit gefüllte Filter eine mit derselben angefüllte Flasche stürzt, so daß die abwärts gekehrte Oeffnung etwa ½ bis 1 Zoll untergetaucht ist. Man stellt die Flasche fest, indem man sie in den Einschnitt eines festgestellten Bretchens u. s. w. einsenkt, daß sie in ihrer Lage beharrt. Das Filtriren geht so beständig fort. Wenn das Filter so weit leer ist, daß die Oeffnung der Flasche über dem Niveau der Flüssigkeit steht, so läuft aus derselben nach und sie hört auf zu laufen, sobald die Oeffnung wieder untergetaucht ist, so daß ein Ueberlaufen der Flüssigkeit nicht zu befürchten ist. Da hierbei leicht durch das Aufwallen, wenn Luft durch die Flüssigkeit streicht, trübende Theile in die Flasche kommen, was beim Aussüßen zu vermeiden ist, so verstopft Berzelius die Flasche mit einem durchbohrten Kork, der eine kleine an beiden Enden offene Glasröhre enthält, deren unteres Ende in eine kurze Spitze ausgezogen und zur Seite und etwas aufwärts gekrümmt ist. Die Glasröhre hat etwa ½ Zoll oberhalb der Spitze eine Seitenöffnung mit einem aufwärts gekrümmten Röhrchen. Läuft die Flüssigkeit im Trichter bis auf einen gewissen Punkt ab, so dringt Luft durch die Seitenöffnung in die Flasche und die Flüssigkeit fließt aus derselben nach (Fig. 160.). Anstatt dieser Vorrichtung kann man auch nach Scheefer einen Kork doppelt durchbohren, in die eine Oeffnung ein gerades, in die andere ein in einen spitzen Winkel aufwärts gebogenes Röhrchen stecken, so hat man dieselbe Wirkung. Gay-Lussac's Filtrirapparat besteht aus einer Woulfischen Flasche mit 2 Oeffnungen. In die eine Oeffnung kommt eine zweischenklige Grasröhre, deren innerer Schenkel fast auf den Boden des Gefäßes reicht, deren äußerer etwas längerer an der Spitze aufwärts gekrümmt ist. Die zweite Oeffnung enthält eine gerade Röhre, deren unteres Ende etwas höher steht als das Ende der Woulfischen Röhre. Das Gefäß wird mit der zu filtrirenden Flüssigkeit angefüllt, alles mittelst durchbohrten Korken wohl geschlossen; unter das äußere Ende kommt der Trichter zum Filtriren oder Aussüßen. Man bringt die Flüssigkeit durch Luftblasen in die gerade Röhre zum Laufen, die Luft dringt beim fortwährenden Abfließen durch die Röhre und ersetzt den leeren Raum in der Flasche. Durch höher oder niedriger Stellen der geraden Röhre kann man das schnellere oder langsamere Nachfließen reguliren.

An Orten, wo man kein reines Trinkwasser erhalten kann, ist es sehr wünschenswerth, das Wasser auf eine leichte, bequeme und wohlfeile Art von den Unreinigkeiten, die ihm beigemengt sind, zu befreien. Man kann sich hierzu eines von Pfaff angegebenen Apparates bedienen.

Der ganze in beliebiger Größe nach dem jedesmaligen Bedürfnisse auszuführende Apparat besteht aus drei Stücken, welche am besten getrennt werden, sich aber leicht auseinander nehmen lassen, der Dauerhaftigkeit wegen von Eichenholz, zur Vermeidung eigener Fäulniß inwendig

Digitized by Google

leicht verkohlt und zur größeren Haltbarkeit mit eisernen Bändern beschlagen sein müssen (Fig. 161.). Es ist dann A ein gewöhnlicher Eimer, welcher oben mit einem Deckel zu größerer Reinlichkeit verschlossen sein kann, unten aber auf einem Brete feststeht, wodurch zugleich das Eindringen des Staubes verhütet wird. In diesen wird das zu filtrirende Wasser gefüllt, und läuft in sehr feinen Strahlen oder selbst nur tropfenweise durch drei in der Mitte dicht neben einander im Boden befindliche Löcher, welche durch gemeine Badeschwämme verstopft sind. Unter diesem Gefäße befindet sich die eigentliche Filtrirtonne, eine gewöhnliche Tonne, welche indeß wenigstens 2 Fuß hoch sein muß, damit der vom Wasser zu durchlaufende Weg nicht zu kurz werde. In dem oberen beweglichen Deckel befinden sich einige Löcher um die Mitte herum, damit das durch die Schwämme dringende Wasser durchfließen könne, dessen Quantität davon abhängt, ob die Schwämme im Boden des Gefäßes A, deren Zahl nach Befinden bei größerem Durchmesser des ganzen Apparates auch vermehrt werden kann, fester oder loser eingedrückt sind. Die Tonne hat zwei eiserne Handhaben, um sie bequem abheben zu können, und ruhet vermittelst eines Bretes auf dem unteren Gefäße C, welches zur Aufnahme des filtrirten Wassers bestimmt, zum Ablassen desselben mit einem Hahne versehen und auf eine Unterlage gestellt ist, um das Wasser bequem in geeigneten Gefäßen auffangen zu können.

Bei den einzelnen Theilen ist dann noch folgendes zu bemerken. Das wesentlichste Stück des ganzen Apparates ist die eigentliche Filtrirtonne Fig. 162. Sie enthält zu oberst eine Lage Sand, welcher vorher geschlemmt und gewaschen sein muß, damit er keine lehmige und erdige Theile mehr enthält. Hierauf folgt eine starke Lage Kohlen von der Größe einer Wallnuß bis zu der einer Erbse, so daß die gröberen unten, die mittleren in der Mitte und die feinsten oben liegen. Sie können von jeder Art Holz sein, jedoch sind die glänzenden und klingenden die besten, auch müssen sie vorher gewaschen werden, bis sie das Wasser nicht mehr schwärzen. Vor allen Dingen hat man dahin zu sehen, daß sie völlig ausgebrannt sind, und thut daher wohl, sie in bedeckten hessischen Tiegeln oder eisernen Gefäßen unmittelbar vor dem Gebrauche auszuglühen, bis sie durchaus keinen Rauch mehr geben. *)

*) Muncke bemerkt hierbei: Da die Anlegung solcher Filtrirapparate in vielen sumpfigen Gegenden selbst auf dem platten Lande der Gesundheit wegen Bedürfniß werden kann, wo man indeß keine erfahrnen Techniker antrifft, so will ich hinzusetzen, daß das Ausglühen der Kohlen, als einzige bei der Construction vorkommende ungewöhnliche Arbeit doch sehr leicht bewerkstelligt wird, indem die hessischen Tiegel aus jeder Apotheke zu haben sind, und zum Behuf dieses Glühens beliebig oft gebraucht werden können, wenn man sie nicht durch große Unvorsichtigkeit zerbricht. Bedeckt werden sie mit einem gewöhnlichen irdenen, am besten an der inneren Seite nicht glasirten, Deckel, und man thut wohl, diesem in der Mitte ein Loch zu geben, beim Auflegen aber die zwischenbleibenden Fugen mit Lehm zu verstreichen, und

Digitized by Google

Unter den Kohlen liegt die dritte und unterste Lage, welche aus grobem, vorher gleichfalls rein ausgewaschenem Kiessande besteht, dessen Druck gegen den unteren im Boden der Filtrirtonne befindlichen Badeschwamm durch einen umgestürzten Topf verhindert wird. Daß endlich das durch die drei genannten Lagen filtrirte Wasser zuletzt durch den im Boden befindlichen Schwamm in das untere, zum Aufbewahrungsbehälter dienende Gefäß läuft, ist aus der Zeichnung für sich klar.

Sollen diese Maschinen die gewünschten Dienste leisten, so ist bei ihnen die höchste Reinlichkeit erforderlich. Daher müssen die Schwämme von ihrem Gebrauche ausgekocht und in warmem Wasser so lange ausgewaschen werden, bis das Wasser aus ihnen klar abläuft. Ferner müssen das obere und untere Gefäß alle 8 bis 14 Tage ausgewaschen und gereinigt werden, und dieses erstreckt sich auch auf die dann herauszunehmenden 3 Schwämme des oberen Eimers, auch ist es gut, wenn der ganze Apparat auswärts mit Oelfarbe angestrichen ist. Die eigentliche Filtrirtonne dagegen hat eine ungleich längere Dauer, indem diese sich der Erfahrung nach auf 2 bis $2\frac{1}{2}$ Jahr erstreckt, ohne daß das filtrirte Wasser eine Abnahme der Wirkungsfähigkeit zeigt; jedoch muß die obere Sandlage alle drei Monate mit einem Löffel abgenommen und erneuert werden. Indem man aber viel reines Wasser zum Reinigen der Substanzen bei der Herstellung des Apparates gebraucht, das Bedürfniß desselben aber in den heißen Monaten am stärksten ist, weil dann das Wasser flacher Brunnen in solchen Gegenden leicht einen fauligen Geschmack annimmt, so kann die Herstellung oder Erneuerung des Apparates in solchen Jahreszeiten vorgenommen werden, in denen am meisten klares Wasser vorhanden ist.

Auch in der Natur kommen Filtrirungen vor, welche die Veranlassung mehrer wichtiger Erscheinungen sind. Namentlich erklärt sich die Bildung der Quellen und des Tropfsteinwassers aus dem Durchseihen des atmosphärischen Wassers durch lockeres Erdreich und Sand.

Fixsterne heißen diejenigen Sterne, welche ihre Stellung gegen einander auf keine wenigstens auf keine mit bloßen Augen bemerkbare Weise verändern. Mehre Bewegungen, welche die Fixsterne gemeinschaftlich zu haben *scheinen*, namentlich die Bewegung des ganzen Himmels in 24 Stunden um seine Axe, sind Resultate der *wirklichen* Bewegung der Erde. Theils haben die einzelnen Fixsterne besondere Namen, theils werden sie seit den ältesten Zeiten in Gruppen zusammengefaßt und benannt. (S. d. Art. Sternbilder.) Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Fixsterne alle eigenes Licht haben, nicht von an-

---

diesen vorher trocknen zu lassen, um die etwa entstehenden Risse erst auszubessern. Endlich kann jeder Hafner einen inwendig nicht glasirten Topf für diesen Zweck verfertigen, oder man kann ihn von Pfeifenton herstellen lassen. Das Ausglühen der Kohlen geschieht nach dem Verhältniß der Größe dieser Töpfe eine halbe bis eine ganze Stunde in gewöhnlichem Kohlen- oder Torf-Feuer.

Digitized by Google

deren Körpern beleuchtet werden (wie die Planeten von der Sonne), indem es keinen Körper, von dem sie ihr Licht empfangen könnten, gibt. Denn daß sie von der Sonne beleuchtet würden, ist schon darum nicht möglich, weil sie so außerordentlich weit von derselben und von uns entfernt sind. Wie groß die Entfernung der Fixsterne von uns sein müsse, lehrt folgende Betrachtung. Wenn wir in einem Zimmer im Kreise umhergehen und unser Auge fest auf einen Punkt an der Decke des Zimmers gerichtet halten, so werden wir die Richtung des Auges gemäß unserer Bewegung verändern müssen, oder was dasselbe, der Punkt wird uns eine ähnliche Linie zu beschreiben scheinen, wie wir selbst bei unserer Bewegung zurücklegen. Da die Erde mit uns ihre jährliche Bahn durch den Weltraum zurücklegt, so scheint, müßte, wer einen Fixstern ein Jahr lang beobachtete, auch sein Fernrohr in anderer und anderer Richtung stellen, um den Stern zu beobachten, oder jeder Fixstern müßte eine der Erdbahn ähnliche Bahn am Himmel zu beschreiben scheinen. Eine Abweichung irgend eines Fixsternes von seiner Stelle, die aus der jährlichen Bahn der Erde zu erklären wäre, d. h. eine Parallaxe, ist bis jetzt aber nicht entdeckt worden. Diese Sterne müssen also so ungeheuer weit von der Erde entfernt sein, daß die große Erdbahn von 41 Millionen Meilen im Durchmesser dagegen so gänzlich verschwindet, wie etwa der Durchmesser eines sehr kleinen Kreises, den eine Fliege auf dem Boden eines Zimmers beschreibt, gegen die Höhe der Decke des Zimmers über dem Boden ein Nichts ist, denn eine solche Fliege würde an einem Punkte der Decke ebenfalls keine oder doch nur eine sehr geringe Parallaxe wahrnehmen. Betrüge die Parallaxe eine halbe Secunde für die nächsten Fixsterne, so müßten diese doch wie man berechnet hat, 500000 mal so weit von uns entfernt sein als die Sonne, also 10 Billionen Meilen. Von der Größe dieser Entfernung erhält man einigermaßen einen Begriff, wenn man bedenkt, daß das Licht, welches mit seiner ungeheuren Geschwindigkeit $8\frac{1}{8}$ Minuten braucht, um von der Sonne zu uns zu gelangen, den Weg von dem nächsten Fixsterne bis zu uns in $7\frac{2}{3}$ Jahren zurücklegt. Mit Hülfe von Fernröhren erblicken wir wahrscheinlich noch Sterne, welche 900 mal so weit als der nächste Fixstern von uns entfernt sind, d. h. 9000 Billionen Meilen.

Eine andere Folge der großen Entfernung der Fixsterne von uns ist, daß uns keiner derselben auch durch die schärfsten Fernröhre betrachtet als eine Scheibe von irgend meßbarem Durchmesser erscheint. Man hat berechnet, daß ein Fixstern von der Größe und dem Glanze unserer Sonne, welcher einer von den uns am nächsten stehenden wäre, zwar noch sichtbar sein würde, aber nur noch einen Durchmesser von $\frac{1}{250}$ Secunde, d. h. einen unmeßbar kleinen Durchmesser haben könnte. Wenn man dennoch von verschiedener Größe der Fixsterne spricht, so versteht man darunter nicht die Größe eines scheinbaren Durchmessers, sondern den scheinbaren Glanz der Sterne. Wären alle Fixsterne von gleicher wirklicher Größe und gleicher Lichtstärke, so müßte man annehmen, daß die am stärksten glänzenden Sterne die uns am nächsten stehenden wären, die nur schwach oder gar nur mit Fernröhren wahr-

Digitized by Google

nehmbaren aber die fernsten. Doch ist es sehr wohl möglich, sogar höchst wahrscheinlich, daß die wahre Größe der Fixsterne sehr verschieden sei, und daß viele schwachglänzende uns näher stehen, aber kleiner sind, als manche der am hellsten glänzenden. Man unterscheidet aber bekanntlich die Sterne nach der Stärke des Glanzes, mit dem sie uns erscheinen, in Sterne der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Größe. Aber auch diese Schätzung ist unzuverlässig, da natürlich viele Uebergänge von der einen zur anderen Größe stattfinden. Die kleinsten der noch mit bloßen Augen sichtbaren Sterne rechnet man zur sechsten und siebenten Größe. Die Farbe, in welcher die Fixsterne glänzen, ist sehr verschieden nüancirt, so hat Sirius ein weißes Licht, Aldebaran ein rothes, einige Sterne haben ein grünliches, andere ein blaues oder violettes Licht. Ferner zeigen einige Sterne ein ruhiges, stilles Licht, während andere mehr glitzernd ungewiß funkeln.

Die Anzahl der Fixsterne scheint wahrhaft unermeßlich zu sein. Mit bloßen Augen sieht man etwa 5000 Sterne erster bis sechster Größe. Mit je schärferen Fernröhren wir aber den Himmel betrachten, desto mehr Sterne niederer Ordnung nehmen wir wahr, und zwar wächst die Anzahl der zu einer Ordnung gehörenden Sterne desto gewaltiger, je niedriger die Ordnung ist, so daß es kaum möglich sein dürfte alle Sterne der zehnten Ordnung zu zählen. Littrow gibt folgende Vorstellung von der Menge der Sterne.

Unsere beiden reichsten Sternkataloge sind Bode's Uranographie, die 17240, und Lalande's Histoire céleste, die 50000 Sterne von der ersten bis neunten Größe enthält, und von denen die letzte bis zum südlichen Wendekreis geht, so daß also die ganze Sphäre nahe 70000 Sterne bis zur neunten Größe enthalten kann.

Von den Sternen der ersten Größe sind Sirius im großen Hunde und Canopus am Steuerruder des südlichen Schiffes die hellsten und scheinbar größten, und außer Canopus und Akarnar am südlichen Ende des Eridanus sind alle vierzehn Sterne der ersten Größe bei uns sichtbar. Nimmt man an, daß alle Sterne der ersten Größe unter einander eben so weit entfernt sind, als von der Sonne, so liegen sie alle auf einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt unsere Sonne, und deren Halbmesser eine Sternweite (200000 Erdweiten)*) ist, und in der That lassen sich auf der Oberfläche einer Kugel 14 Punkte angeben, deren je zwei immer um den Halbmesser der Kugel von einander entfernt sind. Haben ferner die Sterne der zweiten Größe die doppelte, die der dritten die dreifache Entfernung u. s., so sind die der zweiten Größe auf einer Kugelfläche zerstreut, die viermal größer ist, als die vorhergehende, daher auch ihre Anzahl 4 mal 14 ist; die der dritten, deren Anzahl 9 mal 14 ist, auf einer neunmal größeren Kugelfläche,

*) Erdweite nennt Littrow die Entfernung der Erde von der Sonne; er nimmt die Parallaxe des nächsten Fixsternes = 1 Sec., seine Entfernung = 200000 Erdweiten, = 100000 Durchmesser der Erdbahn, = 4 Billionen Meilen.

Digitized by Google

und überhaupt die Sterne der n ten Größe auf einer n^2 mal größeren Kugelfläche in der Anzahl n^2 14. Für $n = 10$ ist die Kugelfläche 100 mal größer, und die Anzahl 1400. Allein diese Annahmen sind zu willkührlich und stimmen auch zu wenig mit den über die Anzahl der Sterne angestellten Beobachtungen überein, um zugelassen zu werden. — Wenn die Sterne, wie es wahrscheinlich ist, im Allgemeinen gleich weit von einander abstehen, und wenn die Sterne der zweiten, dritten Größe zwei, dreimal u. s. f. von uns entfernt sind, so wird man auf demselben Raume des Himmels, auf welchem man im Durchschnitte nur einen Stern der ersten Größe, also nur einen der nächststehenden Sterne sieht, von solchen, die zweimal weiter entfernt sind, also von den Sternen der zweiten Größe $2^3 = 8$; von denen der dritten Größe $3^3 = 27$; von denen der vierten $4^3 = 64$ u. s. f. sehen können. Wenn daher im Durchschnitte auf 70000 Gesichtsfelder des Herschelschen Teleskops, nach seinen darüber angestellten Erfahrungen, nur ein Stern der ersten Größe kommt, so folgt, daß, wenn er in jedem dieser Felder auch nur einen Stern sieht, die am meisten entfernten schon 41 mal weiter entfernt sein müssen, als die Sterne der ersten Größe, da 41^3 nahe 70000 ist. Allein er sah oft hundert, ja zuweilen nach seiner Schätzung ein, zwei bis fünf tausend auf einmal in dem Felde seines Fernrohres, woraus folgt, daß für den letzten Fall die entferntesten dieser Sterne $41.\sqrt[3]{5000}$ oder nahe 700 Sternweiten von uns abstehen, zu welcher Entfernung das Licht 2184 Jahre braucht. Diese Betrachtungen über die Entfernungen der Fixsterne, die uns in unseren besseren Fernröhren noch deutlich sichtbar sind, und daher wahrscheinlich noch sehr weit von der Grenze des Weltsystems entfernt stehen, lassen uns mit Recht auf eine viel größere Anzahl derselben schließen, als oben angegeben wurde, was auch mit den darüber angestellten Beobachtungen sehr gut übereinstimmt. Schon Huyghens konnte mit seinem noch sehr unvollkommenen Fernrohre in dem Schwerte und dem Gürtel Orions über 2000 Sterne bemerken, und Herschel erzählt, daß er in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15 Grad Länge und 2 Grad Breite nicht weniger als 50000 Sterne, die er alle noch deutlich erkennen konnte, durch das Feld seines Teleskopes gehen sah. Da aber ein solcher Streifen der 1375ste Theil der Oberfläche des Himmels ist, der 41252 Quadratgrade in sich enthält, so folgt, daß die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalte, wenn sie überall eben so dicht beisammenstehen. Sie sind aber in manchen Gegenden des Himmels noch viel dichter zusammengedrängt. So sah Herschel im Jahre 1792 den 22. August während 41 Minuten nach seiner Schätzung nicht weniger als 258000 Sterne in der Milchstraße durch das Feld seines Fernrohres ziehen. Nimmt man daher, was wahrscheinlich noch viel zu gering ist, an, daß jede Quadratminute des Himmels auch nur einen einzigen Stern enthalte, so folgt daraus die Anzahl aller Sterne der ganzen Himmelsfläche $(41252) \times (3600)$ oder 148 507 200.

Bisher war aber immer nur noch erst von der geringsten Anzahl der Sterne die Rede, von denen, welche das bewaffnete Auge noch

Digitized by Google

deutlich als einzelne Sterne erkennt. Ganze Welten von Welten aber eröffnen sich der Phantasie in den Nebelflecken, und in dem großen Nebelstreifen der Milchstraße, welche zuerst Herschel als ein Meer von Fixsternen mit Hülfe seines Fernrohrs erkannt hat.

Eine besonders merkwürdige Erscheinung sind die Doppelsterne, Sterne, die paarweise zusammenzugehören scheinen. Man hat solcher nahe bei einander stehender Fixsterne etwa 800 gezählt, doch ist ihre Anzahl wahrscheinlich viel größer, und es werden bei immer genaueren Beobachtungen derselben immer mehr entdeckt werden. So nahe übrigens zwei Sterne an einander gerückt erscheinen mögen, so ist doch dadurch noch keineswegs ausgemacht, daß sie wirklich im Weltraum nahe bei einander stehen. Zwei Sterne werden uns nämlich dann nahe bei einander zu stehen scheinen, wenn die geraden Linien, welche von dem einen und dem anderen Sterne nach unserem Auge reichen, einen kleinen Winkel mit einander machen, obschon die eine dieser Linien viele Millionen Meilen länger als die andere sein kann. Indeß lehren doch weitere Beobachtungen, daß wenigstens eine große Anzahl dieser Doppelsterne nicht allein nahe bei einander stehende, sondern auch in gewisser Beziehung zu einander stehende Sterne sind. Man hat nämlich bei diesen wie bei anderen Fixsternen eigenthümliche Bewegungen im Weltraume durch lange und aufmerksame Beobachtung wahrgenommen, und es findet sich, daß viele dieser Doppelsterne diese Bewegung durchaus nach denselben Gesetzen haben. Noch auffallenderen Zusammenhang aber zeigen diejenigen Doppelsterne, bei denen man eine Bewegung des einen um den andern beobachtet hat. Bei einigen dieser Doppelsterne geht die Bewegung des einen dieser Sterne um den anderen so vor sich, daß dabei ihre Entfernung von einander auffallend sich ändert, bei anderen scheint die Entfernung beider Sterne dieselbe zu bleiben. Der Grund ist der, daß wir die Ebene, in welcher die Bahn des bewegten Sternes liegt, bei den verschiedenen Doppelsternen verschieden geneigt erblicken. Bei einigen verschwand die früher beobachtete Distanz gänzlich und gab so die merkwürdige Beobachtung der Bedeckung eines Fixsternes durch den andern. So erkannte Herschel im J. 1781 den Stern ζ des Herkules deutlich als einen Doppelstern, während man jetzt mit den besten Fernröhren nur noch einen einfachen Stern erblicken kann. Nach Jahren gehen vermuthlich beide Sterne für unser Auge wieder auseinander. Man könnte auf den Gedanken kommen, daß die Doppelsterne vielleicht Sonnen mit ihren Planeten wären, allein es ist erwiesen, daß dieses unmöglich ist, indem die Doppelsterne, um wahrgenommen werden zu können, immer noch in ungeheuren Entfernungen von einander stehen und beide selbstleuchtende Sterne sein müssen. Die zwei zusammengehörigen Sterne erscheinen in einigen Fällen an Größe, Glanz, Farbe gleich, in den meisten Fällen aber unterscheiden sie sich von einander, namentlich auch hinsichtlich ihrer Farbe. Gewöhnlich scheint der um den anderen bewegte Stern der kleinere, in einigen Fällen aber auch der größere zu sein. Die Bewegung des einen Sternes um den andern ist ferner nicht durchaus gleichmäßig; so ging z. B. der kleinere Stern ξ im großen Bären vom J. 1782 bis 1804 durch 51°, 2,

Digitized by Google

während er vom J. 1804 bis 1820 über 176° zurücklegte. Hieraus folgern die Astronomen, daß die Bahn eines solchen Sternes eine stark zusammengedrückte Ellipse sein müsse.

Der Glanz und die Farbe einzelner Fixsterne scheinen im Laufe der Zeit Veränderungen ausgesetzt zu sein. So wird von den Alten des Sirius als eines rothen Sternes erwähnt, während dieser Stern jetzt grade durch ein blendend weißes Licht sich auszeichnet. Von den beiden Zwillingen erscheint jetzt Pollux größer als Kastor, während früher dieser größer als jener war. Der Stern α des Adler war vordem ein Stern zweiter Größe, während er jetzt als einer der schönsten Sterne erster Größe glänzt. Die sieben Sterne des großen Bären scheinen ihre Lichtstärke fortwährend zu ändern, so daß in verschiedenen Zeiten bald der eine, bald der andere als der schönste bezeichnet worden. Tycho z. B. bezeichnet den Stern δ als einer Stern zweiter Größe, während er jetzt nur noch als Stern vierter Größe erscheint.

Noch merkwürdiger als die eben angegebenen sind solche Veränderungen der Fixsterne, welche einen regelmäßigen Wechsel zeigen. Es gibt Sterne, deren scheinbare Größe periodisch ab- und zunimmt. Vorzüglich auffallend ist dieser Wechsel des Glanzes bei dem Sterne Algol im Medusenkopfe, der in der kurzen Periode von 2 Tagen, 20 Stunden und 49 Minuten von der zweiten bis zur vierten Größe sich ändert, und zwar so, daß er 2 Tage 13 Minuten in seinem größten Glanze scheint, dann schnell an Licht abnimmt und in $3\frac{1}{2}$ Stunden schon sein schwächstes Licht, aber auch schon in den folgenden $3\frac{1}{2}$ Stunden wieder sein hellstes Licht erreicht, so daß die ganze Periode der Verdunklung nur 7 Stunden, und die eigentliche Zeit des schwächsten Lichtes nur 18 Minuten währt. Andere Sterne zeigen ähnliche Lichtwechsel bei längeren Perioden. Der sogenannte wunderbare Stern im Wallfische (lat. Mira Ceti) hat eine Periode von 332 Tagen, und ist zur Zeit seines schönsten Lichtes von der zweiten Größe, während er zur Zeit seines schwächsten Lichtes oft selbst durch Fernröhre beinah ganz unsichtbar wird. Dabei scheint er die angegebene Periode nicht immer genau zu beobachten. Man erklärt sich diesen periodischen Lichtwechsel einiger Fixsterne aus der Annahme, daß dieselben wie unsere Sonne um ihre Axe sich drehen, und daß ihre eine Hälfte mit großen schwarzen Flecken bedeckt, oder überhaupt lichtschwächer als die andere sei. Endlich hat man auch beobachtet, daß bisweilen Fixsterne plötzlich erscheinen und nach einiger Zeit eben so plötzlich wieder verschwinden. Am 11. November 1572 entdeckte Tycho in der Cassiopeia einen hellen Stern, der gleich anfangs, als wenn er plötzlich entstanden wäre, selbst Jupiter und Venus an Glanz übertraf, sogar am Tage sichtbar war und durch die ganze Zeit seiner Beobachtung seinen Ort am Himmel nicht änderte, auch keine Parallaxe zeigte (also sicher kein Planet oder Komet war), aber nach Verlauf eines Jahres an Glanz allmählig wieder abnahm und endlich 16 Monate nach seiner Erscheinung, im März 1574, gänzlich verschwand, ohne daß man seitdem eine Spur von ihm wieder auffinden konnte. Den 10. October 1604 entdeckte Kepler einen Stern erster Größe im Fuße des Ophiuchus, der nach einem Jahre

Digitized by Google

ebenfalls völlig verschwand. Den 20. Juni 1670 sah Cassini am Kopfe des Schwans einen Stern der dritten Größe, der schon nach 2 Monaten nur noch ein Stern fünfter Größe war, und bald darauf unsichtbar wurde; in dem folgenden Jahre erschien er wieder mit schnellem auflodernden Lichtwechsel und verschwand endlich nach einem Jahre gänzlich. Daß ähnliche Erscheinungen öfter vorgekommen sein müssen, daß sogar Sterne, die lange Zeit beobachtet worden, verschwunden, andere dagegen, die jetzt seit Jahrhunderten sichtbar sind, vordem nicht zu erblicken gewesen sein müssen, können wir daraus schließen, daß in den Sternverzeichnissen der Alten Sterne bedeutenderer Größe, die wir jetzt kennen, fehlen, dagegen andere aufgeführt sind, von denen wir jetzt keine Spur mehr zu entdecken vermögen.

Es scheint nach dem Angeführten fast, als wenn es im Weltenraum dunkele Körper gebe, die sich einmal entzünden, dann längere oder kürzere Zeit leuchten, bis sie ausgebrannt den Blicken wieder entschwinden.

Uebrigens haben längere aufmerksame Beobachtungen des Himmels gelehrt, daß, obschon die Fixsterne so unwandelbar fest zu stehen scheinen, dieselben doch höchst wahrscheinlich alle eine eigene Bewegung haben. Nur ist diese Bewegung, welcher gemäß sie ihren Ort am Himmel verändern, eine ungemein langsame, nicht an sich, sondern wie wir sie aus der ungeheuren Entfernung wahrnehmen. Unsere Sonne dreht sich höchst wahrscheinlich um ihre Axe, und wenn dieß der Fall wirklich ist, so müßten wir nach den Gesetzen der Mechanik annehmen, daß sie auch eine im Raume fortschreitende Bewegung haben müsse. Man hat die Bewegung der Fixsterne aus dieser wahrscheinlichen Bewegung der Sonne zu erklären sich bemüht, indem sodann jene Bewegung nur eine scheinbare durch die wirkliche der Sonne hervorgebracht wäre. Ist aber unsere Sonne ein Fixstern und bewegt sie sich, so müssen wir nach Analogie annehmen, daß auch die übrigen Fixsterne bewegt sind, und daß also die an ihnen wahrgenommene Bewegung eben so sehr ein Resultat ihrer eigenen als der Bewegung der Sonne sei.

Flasche, Leidner, Kleist'sche Flasche, Ladungsflasche, geladene Flasche, belegte oder armirte Flasche, Verstärkungsflasche ist ein gläsernes Gefäß, gewöhnlich eine Flasche oder ein Zuckerglas, welche mit Belegen von die Elektricität leitenden Stoffen inwendig und auswendig versehen ist (daher **belegte** oder **armirte**, d. h. bewaffnete, **Flasche**), daß die entgegengesetzten Elektricitäten auf beiden entgegengesetzten Seiten des Glases angehäuft werden können (**Ladungsflasche, geladene Flasche, Verstärkungsflasche**) bis zu einem hohen Grade bei dessen Uebersteigung, oder, wenn man beide Belegungen in leitende Verbindung bringt, eine mit einer Explosion begleitete Vereinigung beider Elektricitäten stattfindet. Diese Explosion heißt der **elektrische Schlag**, die elektrische **Erschütterung**, die **Entladung** der Flasche. Der erste Entdecker (im J. 1745) war von **Kleist**, Dechant des Domcapitels zu Camin in Pommern, von dem sie den Namen **Kleist'sche** Flasche erhalten, obschon die Gestalt, in der sie von **Kleist** herstellte, noch sehr

Digitized by Google

unvollkommen war. Im J. 1746 stellten Musschenbroek und andere Physiker Versuche in Leiden an, wobei sie sich ebenfalls eines dem v. Kleist'schen ähnlichen Apparates bedienten und ähnliche Beobachtungen machten, ohne von v. Kleist's Versuchen Kenntniß zu haben, weßhalb man auch den von ihnen angestellten Versuch den Leidner Versuch und den daraus hervorgehenden elektrischen Apparat die Leidner Flasche nannte. Ihre jetzt gewöhnliche Gestalt hat die Leidner Flasche erst unter den Händen einer großen Anzahl von Physikern erhalten, die sich mit Wiederholung des Leidner oder Kleist'schen Versuches beschäftigten.

Zur Herstellung Leidner Flaschen kann man sich gläserner Gefäße aller Formen bedienen, am meisten aber empfehlen sich, namentlich zu größeren Apparaten, die Zuckergläser und Glasstürze. Je härter das Glas ist, desto weniger leitet es die Elektricität und desto brauchbarer ist es im gegenwärtigen Falle. Grünes Glas soll im Allgemeinen den Vorzug vor dem weißen Glase haben. Besonders muß man aber bei der Wahl des Glases darauf sehen, daß es keine Risse und keine Steinflecke hat, indem diese es zum Leidner Versuche gänzlich untauglich machen. Im Verhältniß zur Stärke der Ladung, welche man einer Flasche ertheilen will, muß man das Glas von gehöriger Dicke wählen. Je dünner das Glas einer Flasche ist, desto leichter läßt sie sich laden, desto größer ist aber bei starken Ladungen auch die Gefahr des Springens. Während schwache Maschinen Flaschen von dickem Glase fast gar keine merkliche Ladung ertheilen, kann man mit starken Maschinen Flaschen von dickem Glase eine Ladung ertheilen, welche Flaschen von dünnem Glase nicht auszuhalten vermögen. Indem nämlich die auf den entgegengesetzten Seiten des Glases angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten sich zu vereinigen streben, vermögen zu dünne Flaschen nicht genug Widerstand zu leisten, und indem sie bersten, vereinigen sich die Elektricitäten.

Zur Belegung der Flasche kann man sich aller leicht anzubringenden Stoffe bedienen, welche die Elektricität gut leiten. Kleist goß Wasser in die Flasche und umspannte sie äußerlich mit der Hand, so hatte er die doppelte Belegung, die innere: das Wasser, die äußere: die Hand. Am vortheilhaftesten haben sich Belege von Zinnfolie erwiesen, wofür man aber auch Gold- oder Silberblättchen, Gold- oder Silberpapier, Messing- oder Eisenfeilspähne nehmen kann. Bis zu einer gewissen Entfernung vom oberen Rande wird die ganze Flasche äußerlich mit Zinnfolie ꝛc. überzogen. Man bedient sich zu Befestigung des Stanniols (Zinnfolie) Gummiwassers oder Kleisters, welcher dünn aufgestrichen werden muß und keine Knötchen haben darf; der Stanniol muß überall möglichst glatt anliegen. Inwendig wird die Flasche ebenfalls bis zu einer gewissen Entfernung vom oberen Rande mit Stanniol oder Silberpapier ꝛc. überzogen. Dieses ist aber nur bei weit geöffneten Gefäßen möglich, bei Flaschen mit engem Halse läßt sich eine derartige Belegung nicht wohl herstellen. Man füllt solche Flaschen daher bis zu der gehörigen Höhe mit Schrot, oder mit Messing- oder Eisenfeilspähnen, oder mit einer gesättigten Auflösung von Kochsalz. Große

Flaschen würden aber auf diese Weise sehr schwer werden und man kann daher die innere Belegung auch so herstellen, daß man (am besten noch ehe die äußere Belegung angebracht wird) etwas Gummiwasser in die Flasche gießt, darauf eine kleine Quantität Messingfeilspähne einschüttet und in der Flasche umschüttelt, bis sie vermittelst des Gummiwassers die ganze innere Fläche der Flasche soweit bedecken, als man wünscht, daß die innere Belegung reichen möge. Eine besonders starke Ladung sollen Flaschen aus grünem Glase annehmen, welche zwei Kannen fassen, inwendig mit Eisenfeilspähnen belegt und mit Wasser noch etwas über diese hinaus angefüllt, und von Außen mit unächten Silberblättchen belegt sind.

Der Grund, warum der obere Rand der Flasche unbelegt bleiben muß, ist einleuchtend. Gesetzt nämlich, die Belege reichten inwendig und auswendig bis an die Mündung der Flasche, so würden an dieser beide auf den Belegen sich ansammelnde entgegengesetzte Elektricitäten nur durch einen Raum gleich der Dicke des Glases getrennt sein, sich also sehr bald vereinigen. Desto größere Quantitäten Elektricität werden sich auf den Belegen ansammeln können, je größer der Raum ist, den ein von dem einen zu dem anderen Belege gehender Funke zu durchlaufen hat. Der unbelegte Raum der Flasche dient folglich zur Isolirung beider entgegengesetzter Elektricitäten von einander. Ueber die erforderliche Größe dieses unbelegten Raumes gibt Pfaff folgende Bestimmungen. Ist die Maschine (nach deren Stärke, sowie nach der Stärke des Glases der Flasche die Größe des unbelegten Raumes sich richten muß) von der Beschaffenheit, daß man, wenn sie eine Batterie von 10 bis 12 Quadratschuh Belegung vollständig laden soll, nur Flaschen von der Dicke der gewöhnlichen Zuckergläser laden kann, so ist es genug, wenn man den unbelegten Rand nur zwei Zoll hoch macht, denn dergleichen Gläser sind immer schon stark genug geladen, wenn es so weit gekommen ist, daß eine Selbstentladung erfolgen kann, und dieses wird dem Experimentator minder unangenehm sein, als wenn bei größerer Ausdehnung des unbelegten Randes eine Flasche zersprengt würde. Hat hingegen die Maschine eine größere Stärke, so daß man 20 bis 30 Quadratschuh Belegung, wo die Gläser zu gleicher Zeit dicker als gewöhnlich sind, damit zu laden im Stande ist, so darf man den unbelegten Rand des Glases nicht unter 3 Zoll sein lassen. Besitzt endlich die Maschine so viel Wirksamkeit, daß sie 50 und mehre Flaschen, deren Glasesdicke 2 Lin. beträgt, vollständig laden kann, so muß der unbelegte Rand nicht unter 4 Zoll hoch sein, weil sonst eine Selbstentladung erfolgt, ehe die Batterie den größtmöglichsten Grad ihrer Ladung erreicht hat.

Den unbelegten Rand der Flasche pflegt man, um ihn noch vollständiger isolirend zu machen, mit einer Auflösung von Siegellack zu überziehen. Man pulvert Siegellack in einem Mörser und gießt auf das Pulver rectificirten Weingeist, so erhält man einen dünnen Brei, welchen man mittelst eines Pinsels auf das vorher erwärmte Glas trägt. Nachdem die Leidner Flasche so weit hergestellt, ist sie eigentlich schon fertig und die weiteren Vorrichtungen, welche man an ihr anbringt,

Digitized by Google

beziehen sich nur auf die passende Zuleitung der Elektricität, namentlich zu dem inneren Belege. Zu dem Ende wird ein oben mit einem Knopfe oder einer Kugel versehener Metallstab in sie gestellt, so daß das untere Ende desselben mit der inneren Belegung in möglichst vollständiger leitender Verbindung steht. Die Stellung des Stabes ist die senkrechte und in dieser muß er befestigt werden. Bei Flaschen mit einem engen Halse geschieht diese Befestigung leicht, indem man einen Kork in den Hals treibt und denselben oben bis zum Rande der Flasche abschneidet. Durch den Kork ist vorher ein starker Messingdraht gesteckt worden, der an seinem unteren Ende dünne federnde Metalldrähte hat, oder einen Büschel von Metallfäden, an seinem oberen Ende aber eine kleine Metallkugel trägt. Der Kork hält diesen Draht in senkrechter Stellung befestigt, und die Metalldrähte an seinem unteren Ende legen sich an die innere Belegung der Flasche an. Die obere Fläche des Korks kann mit der angegebenen Siegellackauflösung überzogen werden, so wie man den Kork vor dem Eintreiben in den Hals der Flasche in zerlassenes Wachs tauchen kann. Wenn die innere Belegung eine Füllung von Feilspähnen ꝛc. ist, so braucht der senkrechte Draht ohne die federnden Metalldrähte nur bis etwas unter die Oberfläche der Füllung zu reichen. Der starke Draht, welcher die Kugel trägt, muß 6 bis 8 Zoll über die Flasche herausragen. Am besten ist es, wenn man sein oberes Ende in eine Spitze ausgehen läßt und etwas unterhalb dieser Spitze ein Schraubengewinde anbringt, mittelst dessen die auf die Spitze aufgesetzte Kugel festgeschraubt werden kann.

Bei Zuckergläsern, die man zur Herstellung Leidner Flaschen benutzt hat, kann man entweder den starken Metalldraht, welcher die Kugel trägt, durch einen auf das Glas gesetzten Deckel von Pappe oder Holz, der nachher mit Siegellack überzogen wird, stecken und mittelst desselben befestigen; oder man kann auf den Boden des Gefäßes einen hölzernen Fuß oder einen mit Stanniol überzogenen Kork aufkitten und in diesen den Draht befestigen. Da die erste Methode den Nachtheil hat, daß sie leicht zu Zerstreuung der Elektricität beiträgt, die zweite dagegen theils nicht haltbar ist, theils beim Aufkitten die Flasche Gefahr läuft, so verdient die Vorrichtung, welche van Marum angegeben hat, den Vorzug. Man läßt sich cylindrische Stangen von Holz verfertigen, wie ab (Fig. 163.) von der Dicke von $\frac{3}{4}$ Zoll und von einer Länge, die durch die Höhe der Flaschen bestimmt wird. Jede Stange ist auf eine runde Scheibe c von 4,5 Z. Durchmesser befestigt, und auf ihr oberes Ende wird ein Messingrohr de gepaßt, auf welches die Kugel fe, die bei sehr großen Flaschen, besonders wenn sie zu Batterien gebraucht werden, anderthalb Zoll im Durchmesser haben kann, aufgeschraubt oder auch nur aufgesteckt wird. Vier Messingdrähte von 0,5 Lin. Dicke, die den unteren Theil des Messingrohrs berühren und längs der hölzernen Stange hinaufgehen, laufen über die Oberfläche der Scheibe c hinweg, so daß sie mit dem belegten Boden des Glases in Berührung kommen. Jede hölzerne Stange ist oberwärts mit einer ähnlichen hölzernen runden Scheibe gg wie unterwärts von 4,5 Zoll Durchmesser versehen, bis auf welche das Messing-

Digitized by Google

rohr d hinabreicht. Diese Scheibe (Fig. 164.) hat drei einen halben Zoll dicke längliche Holzstücke h, h, h, die an ihrer untern Fläche durch Streifen von Leder i, i befestigt sind, welche letztere statt Charnieren dienen. Auf jeder dieser Latten ist ein Ring oder eine Oehse k, k von Messingdraht befestigt, die bei der horizontalen Lage der Latten durch den Einschnitt in der hölzernen Scheibe g hindurchgeht. Indem in dieser Lage die Oehse ungefähr ¼ Zoll über die obere Fläche der Scheibe hervorragt, kann man jede der Latten in ihrer horizontalen Lage befestigen, indem man ein kegelförmig zugeschnittenes Holzstäbchen durch die Oehse hindurchsteckt. Die Holzstäbe oder Latten h, h haben gerade die Länge, daß, wenn sie in ihrer gehörigen Länge horizontal in dem Glase ausgestreckt sind, sie die innere Belegung des Glases berühren. Um die Stange mit dem Zuleitungsrohre in die Flasche einzubringen und zu fixiren, läßt man die Holzstäbe h, h an ihren ledernen Charnieren i, i herabhängen, nachdem man vorher kleine Bindfaden an k, k befestigt hat, die durch die Einschnitte der Scheibe g hindurchgehen. Hat man so die Stange mit den Scheiben hineingebracht, so zieht man die Bindfäden in die Höhe, bis die Holzlatten horizontal ausgestreckt sind, und wenn man sie dann vermittelst der durch die Ringe durchgesteckten Keilchen befestigt hat, so ist die Stange selbst in ihrer perpendiculären Lage fixirt. Damit die Scheibe g und die Holzstücke h, h gleichfalls mit zur Ladung des oberen Theiles der Flaschen dienen können, sind sie, so wie auch die untere Scheibe, mit Stanniol überzogen. Auch hier muß das Messingrohr mit seiner Kugel wenigstens 6 Zoll über die Mündung der Flasche emporreichen.

Sobald eine Flasche einen Sprung erhalten hat, ist sie zu Anstellung des Leidner Versuches weiter nicht brauchbar, indem sich durch den Sprung die entgegengesetzten Elektricitäten alsbald verbinden. Es sind indeß von verschiedenen Physikern Mittel angegeben worden, derartige zersprungene Flaschen so auszubessern, daß sie wieder brauchbar werden. Nach Cavallo soll man vom zerbrochenen Theile der Flasche die Belegung abnehmen, die Flasche an der Lichtflamme erwärmen, und brennendes Siegellack auf den Riß tröpfeln, so daß derselbe ganz davon bedeckt wird und das Siegellack in dickerer Masse aufliegt als das Glas selbst dick ist. Hierauf soll man das Siegellack und einen Theil der Glasfläche um den Sprung mit einer Mischung von 4 Theilen Wachs, einem Theile Pech, einem Theile Terpentin und sehr wenig Baumöl bedecken, welche Mischung man auf ein Stück Wachstaffet streicht und wie ein Pflaster auflegt. Endlich erhält die Flasche aufs neue eine vollständige Belegung. Brook hat einen Kitt angegeben, welcher auf die zersprungene Stelle aufgetragen so wirksam sein soll, daß bei derselben Flasche ein neuer Bruch nicht leicht an der gekitteten, sondern eher an irgend einer anderen Stelle des Glases erfolgt. Man nimmt drei Unzen von spanischem Weiß und erhitzt sie, um alle Feuchtigkeit zu verjagen, in einer messingnen Kelle sehr stark. Wieder abgekühlt wird dieses durch ein sehr feines Haarsieb durchgesiebt, hierauf werden drei Unzen Pech, ¼ Unzen Kolophonium und ½ Unze Wachs hinzugethan. Das Ganze wird alsdann über einem schwachen Feuer unter häufigem

Digitized by Google

Umrühren faſt eine Stunde lang in Fluß erhalten, bis es ziemlich heiß geworden iſt. Dann nimmt man es vom Feuer und ſetzt das Umrühren fort, bis die Maſſe kalt geworden und zum Gebrauch fertig iſt. Nach abgenommener Belegung trägt man dieſen Kitt auf die zerbrochene Stelle auf und belegt dieſelbe aufs Neue.

Cavallo hat unter dem Namen Sperrflaſche einen Apparat angegeben, welcher nicht wie die gewöhnlichen Flaſchen die ihm mitgetheilte Ladung nur kurze Zeit, ſondern über 6 Wochen lang halten ſoll. Außer der äußern und innern Belegung, welche die Flaſche mit allen andern gemein hat, iſt in ihrem Halſe eine an beiden Seiten offene Glasröhre eingekittet, und dieſe reicht ein wenig in die Flaſche hinein. Sie hat am untern Ende einen Draht, der die innere Belegung berührt. Die gleichſam andere Hälfte des Zuleitungsdrahtes mit dem Knopfe iſt in eine andere Glasröhre gekittet, welche faſt doppelt ſo lang aber enger als die vorerwähnte iſt, und zwar ſo, daß an einem Ende bloß der Kopf, am andern Ende nur etwas weniges vom Draht hervorragt. Dieſe Glasröhre kann man nach Gefallen in die andere hineinſtecken, wobei das untere Ende des Drahtes jenen an dem erſten Rohre befindlichen Draht oder noch beſſer die innere Belegung ſelbſt berühren muß. Iſt dieſe zweite Röhre in der angegebenen Lage, ſo kann man die Flaſche auf die gewöhnliche Weiſe laden und entladen. Nimmt man aber nach der Ladung die zweite Röhre mit dem Knopfe und Drahte heraus, ſo iſt die innere Belegung ganz iſolirt und man kann ſo die Flaſche geladen bei ſich tragen oder verſenden, ohne daß ſie die Ladung ſo bald verlöre.

Das Laneſche Ausladeelektrometer iſt eine gewöhnliche Leidner Flaſche mit einer Vorrichtung, die Stärke der ihr in einzelnen Fällen ertheilten Ladung zu meſſen. S. d. Art. Auslader S. 132.

Die zwei verſchiedenen, am gewöhnlichſten gebräuchlichen Leidner Flaſchen ſind in Fig. 165. und Fig. 166. abgebildet; ſie bedürfen nach dem Angeführten keiner nähern Erläuterung. In gewiſſen Fällen wird der Draht, welcher die Kugel trägt, gebogen, zuweilen ohne Kugel angewendet, daher es wie angegeben gut iſt, ihn mit einer Spitze und einem Schraubengewinde zu verſehen, damit die Kugel nach Belieben aufgeſetzt und abgenommen werden kann.

Um einer Leidner Flaſche auf die einfachſte Art die größtmöglichſte Ladung zu geben, lege man ſie mit ihrem Knopfe an den Conductor einer in Bewegung geſetzten Elektriſirmaſchine, während man ſie ſo in der Hand hält, daß man ſie an der Stelle ihrer äußern Belegung umſpannt. Nähert man den Knopf der Flaſche nur dem Conductor bis zu einer Entfernung von etwa einem halben Zolle, ſo wird man eine Reihe von Funken aus dem Conductor nach dem Knopfe der Flaſche überſpringen ſehen und hören, ohne daß man im Arme eine Erſchütterung verſpürt, wie dieſes der Fall ſein würde, wenn man den metallnen Draht, welcher die Kugel trägt, unmittelbar anfaßte. Die Funken werden nach und nach ſchwächer werden und endlich ganz aufhören, ſie ſpringen aber wiederum über, wenn man die Flaſche mit ihrem Knopfe dem Conductor noch näher als vorher bringt.

Digitized by Google

Um zu erfahren, wann eine Flasche oder Batterie von Flaschen den größtmöglichen Grad der Ladung erhalten hat, bedient man sich des Adamschen Ladungselektrometers (s. d. Art. Elektrometer S. 234 ff.). Wenn man ein solches Elektrometer auf den ersten Leiter einer Elektrisirmaschine setzt, so wird alsbald nach Beginn der Thätigkeit der Maschine der mit der Kugel versehene bewegliche Metalldraht auf 90° sich erheben und dadurch den größtmöglichen Grad der elektrischen Spannung anzeigen. Ist dagegen eine Leidner Flasche mit dem ersten Leiter der Maschine in Verbindung gesetzt, so sind nach Verhältniß der Belegung der Flasche mehre Umdrehungen der Maschine nöthig, ehe das Elektrometer bis zu 90° sich erhebt. Man kann auch das Elektrometer auf den Knopf der Flasche setzen, es zeigt dann die mit der Ladung zunehmende freie elektrische Spannung der inneren Belegung der Flasche und des Zuleiters an. Nachdem das Elektrometer den höchsten Stand erreicht hat, den es auf dem ersten Leiter, ehe er mit einer Flasche in Verbindung gesetzt wurde, annahm, steigt es nicht weiter, man mag das Umdrehen der Maschine auch noch so lange fortsetzen. Bei der Ladung großer Batterien bleibt es gewöhnlich noch mehre Grade unter 90° stehen. Sobald das Elektrometer zu steigen aufgehört hat, hat die Flasche oder Batterie den größtmöglichen Grad der Ladung erhalten; im Falle, daß keine Selbstentladung der Flasche stattfindet, kann man das Ausströmen der Elektricität aus dem Knopfe und dem ihn tragenden Drahte an einem vernehmbaren Zischen und im Dunkeln an einem Feuerpinsel bemerken.

Wenn die Ladung in angegebener Art vorgenommen wird, so sammelt sich offenbar die zugeleitete Elektricität, es mag dieselbe nun negativ oder positiv sein, an dem Glase auf der Seite der innern Belegung, die andere Belegung, welche durch die sie umspannende Hand und den Körper des Experimentators mit dem Boden in Verbindung gesetzt ist, zeigt weder positive noch negative Elektricität, denn alle hier sich erzeugende Elektricität wird sogleich abgeleitet. Diese Ableitung erfolgt schon, wenn man eine Flasche bei der Ladung unmittelbar auf den Tisch setzt, bei größeren Batterien ist es aber nöthig, die äußere Belegung sämmtlicher Flaschen noch besonders durch eine Kette mit dem Boden in leitende Verbindung zu setzen, oder wenn die Elektrisirmaschine selbst durch eine Drahtleitung mit dem Erdboden in Verbindung steht, von der Batterie aus nach dieser Drahtleitung eine Kette zu führen. Der Knopf der Flasche braucht ferner bei der Ladung nicht in unmittelbare Berührung mit dem Conductor gebracht zu werden, sondern man kann die Verbindung auch hier mit einer Kette herstellen, man muß aber hierzu, um ein zu frühes Ausströmen der Elektricität zu vermeiden, eine Kette von verhältnißmäßig nicht zu dünnem Drahte nehmen, deren Glieder überall wohl zusammengelöthet sind. Um eine negative Ladung der Flasche zu bewirken, braucht man den Knopf derselben nur mit dem Knopfe des Reibzeuges zu berühren und wie vorher die äußere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung zu setzen. Hat die Elektrisirmaschine, wie jetzt bei den meisten guten Maschinen der Fall ist, einen eigenen Conductor für negative Elektricität, oder

Digitized by Google

läßt ſich ein ſolcher anbringen, ſo wird der Knopf der Flaſche mit demſelben in leitende Verbindung geſetzt.

Die Ladung der Flaſche läßt ſich noch auf mannigfache über das Weſen der Elektricität belehrende Art abändern. Wenn man z. B. die äußere Belegung der Flaſche an den Conductor hält, und zugleich die Flaſche am Knopfe mit der Hand hält, ſo zeigt die äußere Belegung freie elektriſche Spannung, während die innere Belegung ſo wie der Zuleiter weder poſ. noch neg. Elektricität zeigen.

Vorzüglich belehrend iſt folgender Verſuch. Man ſtelle die zu ladende Flaſche auf eine Grundlage, welche dieſelbe ſo gut als möglich iſolirt, z. B. auf einen recht glatten Harzkuchen ohne Sprünge, und nähere ſie ſo dem Conductor einer Elektriſirmaſchine. In ungefähr gleicher Entfernung, in welcher der Knopf der Flaſche vom Conductor abſteht, halte man gegen die äußere Belegung den Knöchel des Fingers oder eine auf einen Metallſtab geſteckte Kugel. Wird nun die Maſchine in Bewegung geſetzt, ſo ſpringen eben ſo wie aus dem Conductor nach dem Knopfe der Flaſche, aus der äußeren Belegung derſelben nach dem Knöchel oder Knopfe Funken über, welche ſchwächer werden, wie die Funken aus dem Conductor abnehmen, und wie allmählig zu weiterer Funkenentlockung die Flaſche dem Conductor, ſo muß auch der Knöchel (oder die Kugel) der äußeren Belegung der Flaſche näher gebracht werden. Die Elektricität nun, welche aus der äußeren Belegung nach dem Knöchel übergeht, iſt von derſelben Art wie diejenige, welche aus dem Conductor nach dem Knopfe der Flaſche ſpringt. Hieraus ſieht man, daß, ſowie die Elektricität der einen Belegung zugeführt wird, in gleichem Maße die gleichnamige Elektricität der anderen Belegung frei wird. In dem Falle, wo die eine Belegung in leitender Verbindung mit dem Erdboden ſteht, bemerkt man dieß nicht, indem wegen der Vollſtändigkeit der Verbindung keine Erſcheinung von Funken ſtattfinden kann.

Bringt man von einer vollkommen iſolirt aufgeſtellten oder aufgehängten Leidner Flaſche die eine Belegung mit dem poſitiven, die andere mit dem negativen Conductor einer Elektriſirmaſchine in leitende Verbindung, ſo zeigen, wenn der poſitive und negative Conductor möglichſt gleiche Größe und Form haben, beide Belegungen der Flaſche freie elektriſche Spannung von gleicher Stärke. Schätzt man die Größe der Ladung mit demſelben Elektrometer wie vorher, ſo zeigt ſich, daß mehre Umdrehungen der Maſchine nöthig ſind, um dieſelbe Flaſche auf denſelben Grad der Spannung zu bringen, und daß folglich eine auf dieſe Art geladene Flaſche bei demſelben Stande des Elektrometers eine doppelt ſo große Ladung hat. Hierbei verbindet ſich die der einen Belegung zugeführte poſitive Elektricität mit der negativen Elektricität der Belegung und poſitive Elektricität derſelben wird frei, während an der anderen Belegung durch Verbindung der ihr zugeführten negativen Elektricität mit der poſitiven Elektricität derſelben, negative Elektricität frei wird. Hiernach kann man ſagen, daß unter dieſen Umſtänden eine Flaſche durch ihre eigene Elektricität geladen werde.

Wie man oben mit dem Knöchel der Hand aus der äußeren Be-

Digitized by Google

legung einer Flasche Funken erhielt, während zugleich der Knopf de Flasche Funken aus dem Conductor empfing, so kann man auch ein Leidner Flasche an der anderen dadurch laden, daß man ihren Knopf, während jene geladen wird, mit der äußeren Belegung der anderen in Verbindung setzt. Man kann so eine ganze Reihe von (übrigens isolirten) Flaschen an einander laden, indem, während der Knopf, also die innere Belegung der ersten Flasche mit dem positiven Conductor der Maschine in Verbindung ist, immer die innere Belegung der einen mit der äußeren Belegung der vorhergehenden in leitende Verbindung gesetzt ist, die äußere Belegung der letzten dieser Flaschen aber mit dem Erdboden oder mit dem isolirten negativen Conductor (oder mit dem isolirten Reibzeuge) verbunden ist. Im ersten Falle, wenn die äußere Belegung der letzten Flasche mit dem Erdboden in Verbindung steht, ist die Ladung jeder folgenden Flasche schwächer als die Ladung der vorhergehenden, nach einem bestimmten Gesetze der Abnahme, wie dieses durch die Ladungselektrometer angezeigt wird. Im zweiten Falle, wenn die äußere Belegung der letzten Flasche mit dem negativen Conductor in Verbindung steht, die Flaschen unter einander gleich und gleichmäßig gut isolirt sind, so werden die erste und die letzte Flasche gleich stark geladen, von beiden an aber nimmt die Ladung der Flaschen nach der Mitte zu nach einem bestimmten Gesetze ab, so daß die mittelste am schwächsten geladen wird.

Uebrigens zeigen die Beobachtungen der Ladungselektrometer, daß zu gleich starker Ladung zweier ꝛc. gleich großer und gleich vollkommener Flaschen eine doppelt ꝛc. so große Menge Elektricität erforderlich ist, und also durch die Elektrisirmaschine erzeugt werden muß, d. h. hierzu eine doppelte Anzahl von Umdrehungen erforderlich ist, wie zu Ladung einer dieser Flaschen. Auf gleiche Weise ist auch eine desto größere Anzahl von Umdrehungen zur möglichsten Ladung einer Flasche nöthig, je größer die Oberfläche der Belegung derselben ist. Je größer folglich die belegte Fläche der zu ladenden Flasche oder Batterie ist, eine desto größere Quantität der angehäuften Elektricität wird durch denselben Stand des Elektrometers angezeigt. Kommt es folglich darauf an, die Quantität der in einem gewissen Falle angehäuften Elektricität, oder was dasselbe die absolute Stärke der Ladung zu schätzen, so darf man nicht allein auf den Grad der Spannung, welchen ein bekanntes Elektrometer angibt, Rücksicht nehmen, sondern muß das Produkt dieser Größe und der belegten Oberfläche berechnen. Bei solcher Bestimmung kann aber durchaus von keiner Genauigkeit die Rede sein, weil noch eine Menge von unberechenbaren Zufälligkeiten modificirend auf die absolute Stärke der Ladung in jedem einzelnen Falle wirken. So ist, wie schon oben angegeben wurde, bei übrigens durchaus gleichen Leidner Flaschen die Dicke des Glases von bedeutendem Einflusse, und höchst wahrscheinlich ist auch die Beschaffenheit des Glases von einem, aller Berechnung sich entziehenden Einflusse.

Die Belege der Flasche haben wesentlich nur den Zweck zu leichter gleichförmiger Verbreitung der Elektricität auf beiden Oberflächen des Glases beizutragen, keineswegs aber sind sie allein als die eigentlichen

Digitized by Google

Bewahrer und Festhalter der Ladung zu betrachten. Dieses beweisen namentlich zwei Versuche. Man hat nämlich Flaschen gefertigt, an denen sich die Belege abnehmen lassen (die Flaschen, bei welchen die innere Belegung aus Schrot besteht, den man nach Belieben ausschütten kann, sind namentlich hierzu brauchbar), wenn man nun eine solche Flasche erst wie gewöhnlich ladet, sodann die Belege abzieht und andere (nicht elektrisirte) Belege an die Stelle setzt, so kann man nachher die Flasche entladen. Die Entladung ist aber schwächer als sie dann gewesen wäre, wenn man der Flasche die erste Belegung gelassen hätte, zum Zeichen, daß ein Theil der Elektricität an den Belegen haftet. *) Einen zweiten Beweis gibt der Umstand, daß sich auch Glas laden und entladen läßt ohne alle Belegung **) und daß hier die Elektricität den einzelnen Theilen der Oberfläche nicht auf einmal, sondern nur nach einander mitgetheilt und entzogen werden kann.

Es ist oben gesagt worden, daß eine Selbstentladung der geladenen Leidner Flasche dann stattfindet, wenn die elektrische Spannung so groß geworden ist, daß der beide belegte Flächen der Flaschen scheidende unbelegte Raum nicht mehr groß genug ist, um eine Vereinigung beider Elektricitäten im elektrischen Funken zu verhindern. Die künstliche Entladung geschieht nun, wenn man die eine der geladenen Flächen durch einen mit ihr in Verbindung stehenden leitenden Fortsatz so nahe der anderen belegten Fläche bringt, daß ein Funke überzuspringen vermag. Gewöhnlich bedient man sich zur Entladung des Ausladers (s. d. Art.), dessen einen Knopf man an die äußere Belegung der Flasche anlegt, während man den anderen Knopf dem Knopfe der Flasche so nahe bringt, daß der Funke aus diesem in jenen Knopf überspringt. Die weiteste Entfernung, aus welcher jenes Ueberspringen des Funkens erfolgt, ist die Schlagweite, an deren Größe man ein Maß der Stärke der Ladung hat. Bedient man sich nicht eines Ausladers, sondern berührt man mit der einen Hand die äußere Belegung, während man den Finger der anderen Hand dem Knopfe der Flasche nähert, so springt der Funke in den Finger über und man empfindet je nach der Stärke der Ladung eine durch den Körper gehende, namentlich in den Gelenken der Hände, Arme und Schultern und in der Brust merkliche mehr oder minder heftige Erschütterung. Man nennt daher die bei der Entladung erfolgende Erscheinung den elektrischen Schlag oder die elektrische Erschütterung.

Der Funke, welchen man aus einer geladenen Flasche erhält, unterscheidet sich von dem, den man aus dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine ziehen kann, nicht sowohl durch eine bedeutendere Schlagweite, eine größere Entfernung, in welche er überschlägt, sondern durch größere in mehrfacher Beziehung sich kundgebende Intensität. Der Funke,

*) Noch besser läßt sich ein diesem ganz entsprechender Versuch an der elektrischen Platte mit einer gewissen Vorrichtung anstellen, s. d. Art. Platte, elektrische.

**) S. d. Art. Platte, elektrische.

in dem sich eine Flasche oder eine Batterie entladet, ist dicker und glänzender als der aus dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine, geht nicht wie dieser zickzackförmig, sondern gerade fort und gibt einen lauteren Knall als dieser, so daß er bei großen Batterien dem Knalle einer kleinen Pistole nahe kommt; endlich ist die Erschütterung desselben, welche er dem thierischen Körper ertheilt, bei weitem heftiger. Eine sehr große Anzahl von Menschen, die sich bei den Händen halten, und von denen der erste die äußere Belegung einer geladenen Flasche berührt, worauf der letzte den Finger dem Knopfe der Flasche nahe bringt, empfinden sämmtlich die elektrische Erschütterung in der angegebenen Art. Der Schlag von Batterien und großen Flaschen, die mehre Fuß Belegung haben, ist so heftig, daß er nachtheilige Wirkungen, Lähmung der Nerven, Blutspeien ꝛc. zu Folge haben, ja selbst Thiere tödten kann. Man unterscheidet die einfache Elektricität, welche vom ersten Leiter einer Elektrisirmaschine aus wirkt, von der verstärkten Elektricität, welche bei geladenen Flaschen und Batterien auftritt.

Hat man den elektrischen Schlag aus einer geladenen Flasche oder Batterie in der Art ausgezogen, daß man die zweite Kugel des Ausladers dem Knopfe der Flasche bis zur Schlagweite näherte, so erhält man einige Augenblicke darauf, wenn man den Knopf des Ausladers dem Knopfe der Flasche nun näher als vorher bringt, einen zweiten minder heftigen Schlag, ohne die Flasche aufs neue geladen zu haben. Dieselbe Operation kann man noch mehre Male wiederholen, aber immer wird der Erschütterungsschlag unbedeutender, und die Schlagweite, in der er erfolgt, geringer. Man nennt dieß den Ueberrest der Ladung. Ueber den Grund des Bestehens solch eines Ueberrestes s. d. Art. Elektricität S. 89.

Die einer Flasche ertheilte Ladung wird ganz oder zum größten Theile aufgehoben, wenn man die mit der einen der beiden Elektricitäten geladene Flasche nachher, ohne den elektrischen Schlag ausgezogen zu haben, mit der andern Elektricität ladet. Hat man z. B. eine Flasche am positiven Conductor einer Elektrisirmaschine geladen, so daß sich das Elektrometer bis auf einen gewissen Grad gehoben hat, und bringt man hierauf den Knopf der Flasche mit dem negativen Conductor der Maschine in Verbindung, so sinkt bei fortwährender Thätigkeit der Maschine das Elektrometer wieder herab und endlich auf Null. Fährt man fort die Maschine in Thätigkeit zu erhalten, und läßt man den Knopf der Flasche mit dem negativen Conductor in Verbindung, so erhebt sich das Elektrometer wieder, aber die Flasche wird jetzt negativ geladen. Es wird also in diesem Falle die der Flasche zuerst zugeführte positive Elektricität durch die hernach ihr zugeleitete negative Elektricität völlig neutralisirt, und führt man der Flasche genau eben so viele negative wie vorher positive Elektricität zu, so zeigt sie, nachdem dieß geschehen, keine Spur von Elektricität. Entgegengesetzte Ladung einer geladenen Flasche entladet also dieselbe ohne Funken und Erschütterungsschlag.

Entsprechend ist die Art, wie man zwei Flaschen an einander entladen kann. Ladet man zwei einander so weit als möglich gleiche Fla-

Digitized by Google

schen gleichzeitig, aber entgegengesetzt, indem man den Knopf der einen Flasche mit dem positiven, den Knopf der anderen mit dem negativen Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung setzt, so erhalten beide Flaschen, wenn anders die Elektrisirmaschine die nöthige Vollkommenheit hat, eine gleiche Ladung. Verbindet man hierauf die äußeren Belege beider Flaschen mit einander, setzt den Knopf des isolirten Ausladers auf den Knopf der einen Flasche und nähert dann den anderen Knopf des Ausladers dem Knopfe der anderen Flasche, so erfolgt die gewöhnliche Erscheinung der Entladung, und beide Flaschen zeigen sich nach dieser Operation entladen. Zwei gleichnamig (beide mit pos. oder beide mit neg. Elektricität) geladene Flaschen kann man an einander entladen, wenn man die äußere Belegung der ersten mit dem Knopfe der zweiten, und die äußere Belegung der zweiten mit dem Knopfe der ersten gleichzeitig in leitende Verbindung bringt. Bringt man die äußeren Belegungen mehrer Flaschen in leitende Verbindung, und eben so ihre inneren Belege mit dem Knopfe einer geladenen Flasche mittelst eines isolirt gehaltenen Ausladers, so wird die Ladung der geladenen Flasche unter die ungeladenen Flaschen vertheilt.

Wenn man eine geladene Flasche auf eine Harzplatte oder sonst eine isolirende Unterlage setzt, und ohne die äußere Belegung zu berühren den Finger dem Knopfe der Flasche nähert, so erhält man einen stechenden Funken, aber keinen elektrischen Erschütterungsschlag. Die innere Belegung zeigt keine Elektricität mehr, dagegen zeigt die äußere elektrische Spannung und zwar von entgegengesetzter Art als vorher die innere Belegung. Nähert man nun der äußeren Belegung den Finger, so erhält man ebenfalls einen kleinen Funken, ihre Elektricität verschwindet, indem zugleich die entgegengesetzte Elektricität an der inneren Belegung wieder frei auftritt, aber mit geringerer Spannung als bei Beginn des Versuches. Man kann wieder aus der inneren, und so fort abwechselnd aus der äußeren und inneren immer kleiner werdende Funken ziehen, bis man zuletzt gar keine Empfindung eines Funkens mehr, weder aus der einen noch aus der anderen Belegung erhält, auch ein empfindliches Elektrometer keine Spur freier Spannung mehr zeigt und die Flasche entladen ist. Die Erscheinung erklärt sich aus dem Wesen der Elektricität, indem sich die Elektricitäten beider Belegungen gegenseitig binden mit einem Ueberschusse freier Elektricität, erst positiver an der inneren Belegung, dann negativer an der äußeren Belegung u. s. f.

Die letztere Beobachtung hat man zur Herstellung interessanter und lehrreicher Spielwerke benutzt. Um die äußere Belegung einer Leidner Flasche F (Fig. 167.) lege man einen messingenen Reif, von dem aus ein krumm gebogener Metallstab mit einer Kugel B in die Höhe geht, so daß die Kugel B der Kugel des Leitungsdrahtes zur inneren Belegung A in einer Entfernung gegenüberstehe, welche etwas größer als die Schlagweite ist. Zwischen beide Kugeln hänge man nun ein Kügelchen von Hollundermark oder Kork an einem dünnen seidenen Faden auf. Ist die Flasche geladen und isolirt aufgestellt, so wird das Hollundermarkkügelchen abwechselnd von beiden Kugeln A

Digitized by Google

und B angezogen und abgestoßen, so daß es wie ein Perpendikel hin- und zurückgeht,*) so lange bis die Flasche entladen ist. Dem Kügelchen pflegt man die Gestalt einer Spinne zu geben, wo seine Bewegung dann Aehnlichkeit mit der einer zwischen zwei Gegenständen ihr Gewebe anlegenden Spinne hat; daher dieses Spielwerk unter dem Namen der elektrischen Spinne bekannt ist. Wenn man auf den Knöpfen A und B metallene Glöckchen anbringt und an den seidenen Faden statt des Hollundermarkkügelchens ein Metallkügelchen befestigt, so geht dieses zwischen den Glocken hin und her, schlägt an sie an und man hat ein elektrisches Glockenspiel, welches so lange läutet, bis die Flasche entladen ist.

Es ist oben gesagt worden, daß sich der elektrische Schlag einer großen Anzahl von Personen mittheilt, die einander an den Händen halten und von denen der erste und der letzte die beiden Belege der zu entladenden Flasche berühren. Es können dieß mehr als hundert Personen sein und dieselben brauchen nicht isolirt aufgestellt zu sein. Man sieht schon hieraus, daß die beide Belegungen verbindende Leitung (hier die Reihe der Menschen) sehr groß sein kann, und dennoch die Entladung augenblicklich erfolgt. Man hat indeß Versuche mit noch bei weitem längeren Leitungen angestellt. Zu diesen Leitungen kann man sich natürlich aller derjenigen Stoffe bedienen, welche gute Leiter der Elektricität sind. Winkler stellte derartige Versuche schon im Jahr 1746 in Leipzig an. Drei Flaschen standen in der Pleiße und dieselben wurden entladen, wenn man die Verbindungskette dreißig Ellen weit davon ebenfalls in den Fluß hing, und das andere Ende an den mit den Flaschen verbundenen Conductor brachte. Le Monnier leitete die Erschütterung durch einen Draht von 12000 Par. Fuß, und ein anderes mal über die Oberfläche des großen Bassins in den Tuilerien zu Paris. Genauer sind die Versuche, welche Watson zu London 1747 und 1748 angestellt hat. Erst wurde die Erschütterung quer über die Themse, dann durch die Windungen eines Flusses, dann durch eine Verbindung von vier englischen Meilen, nämlich zwei Meilen Draht und zwei Meilen trockenen Erdboden, endlich 1748 durch eine Strecke Draht von 12276 Fuß oder mehr als $2\frac{1}{4}$ engl. Meilen geleitet. In dem Versuche, in welchem der trockene Grund mit in die Verbindung aufgenommen war, wurde der eine mit dem äußern Belege der Flasche und dem sie ladenden Conductor verbundene Draht eine Meile weit bis zu dem einen Beobachter, und der andere Draht, an welchem sich ein kurzer eiserner Stab befand, mit welchem durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung gemacht wurde, zum andern Beobachter geleitet, welche selbst auf Harzkuchen isolirt mit der einen Hand jeder das Ende des Drahtes anfaßten, und mit einem eisernen Stabe in der anderen Hand den Boden berührten, der in einer Strecke von zwei englischen Meilen die kürzeste Entfernung zwischen ih-

*) Ueber diese wechselnde Anziehung und Abstoßung s. d. Art. Elektricität.

nen bildete. Die beiden Drähte waren bloß durch trockene hölzerne Stäbe getragen, der eine Draht ging selbst über Hecken und an Bäumen vorbei, der zwischen beiden Beobachtern befindliche Grund war zum Theil steinig und bei dem damals warmen Sommerwetter sehr trocken. In dem Augenblicke, da die Entladung erfolgte, so weit bei der Entfernung der Beobachter vom Orte der Entladung dieses sich annäherungsweise bis auf weniger als $\frac{1}{2}$ Secunde mit Sicherheit ausmitteln ließ, fühlten auch die beiden Beobachter die starke Erschütterung, doch derjenige, dessen Draht in mehrfacher ableitender Berührung sich befand, weniger heftig. Der letzte Versuch war aber ganz entscheidend für eine instantane Fortleitung durch eine Strecke von mehr als 6000 Fuß. Hier wurde nämlich der eine Draht an das äußere Beleg befestigt, und auf einem an das Zimmer, in welchem der Versuch gemacht wurde, anstoßenden Felde durch trockene Holzstäbe unterstützt, hin und her mit seinem Ende in das Zimmer zurückgeführt, in einer Länge von mehr als einer englischen Meile, eben so der andere Draht, welcher durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung bewirkte, und der Beobachter selbst, welcher sich im Zimmer neben der Maschine befand, faßte mit seinen beiden Händen die beiden Enden der Drähte. In dem Augenblicke der Entladung wurde auch die Erschütterung von ihm in beiden Armen und durch die Brust empfunden — dagegen empfand er nichts, wenn die beiden Drähte mit einander in eine leichte Berührung gebracht wurden und er wie zuvor die Drähte mit beiden Händen anfaßte, eben so wenig, wenn er nur das Ende des einen Drahtes in der Hand hielt, in welchem Falle sich die Flasche auf eine andere Weise entlud, und endlich war die Erschütterung ganz dieselbe und ging gleichfalls auch nur durch die beiden Arme und die Brust, und nicht durch die Füße, wenn der Beobachter außerhalb vor dem Fenster auf dem feuchten Grunde stand, und übrigens auf gleiche Weise die Enden der beiden Drähte in seinen Händen hielt.

Wie der Blitz, so verfolgt auch die Elektricität bei der Entladung einer Leidner Flasche oder einer Batterie stets denjenigen Weg, der ihr durch die nächsten und besten Leiter angewiesen ist. Sie verläßt diese nur dann, wenn im Verhältniß zu der Größe der Oberfläche der Leiter die Menge der im elektrischen Schlage sich ausgleichenden Elektricität sehr bedeutend ist, und wenn andere nicht viel schlechtere Leiter in größerer Ausdehnung vorhanden sind (vergl. d. Art. Blitz). Wenn man z. B. eine Leidner Flasche mit einem Ausladen, der keinen isolirenden Handgriff hat, entladet, so wird man dennoch keine elektrische Erschütterung empfinden, so lange die Flasche im Verhältniß der Dicke des leitenden Drahtes klein genug, ist sie aber bedeutend groß, oder entladet man mit einem solchen Ausladen eine Batterie, so empfindet man in der ihn haltenden Hand eine leichte Erschütterung. Hierher gehört auch die Erscheinung, daß eine mit der äußeren Belegung einer Flasche in Verbindung stehende Kette im Dunkeln leuchtet, indem zwischen ihren Gliedern Funken überspringen, sobald die Flasche mittelst eines Ausladers entladen wird, obgleich sie hierbei keinen Theil der Leitung ausmacht. Diese Erscheinung erfolgt selbst dann, wenn die Kette

Digitized by Google

nicht in unmittelbarer Berührung mit der Flasche steht, sondern nur in der Nähe derselben sich befindet; dann springt in dem Augenblicke der Entladung der Flasche zwischen der äußeren Belegung derselben und dem nächsten Ende der Kette ein Funke über. Der Grund dieser und ähnlicher Erscheinungen ist, daß die der Flasche dargebotene Leitung der Elektricität nicht völlig zu deren Entladung auszureichen vermag, eine Quantität freier Elektricität also übrig bleibt, welche sich in dem sogenannten seitwärts gehenden Schlage mit ihrem Gegentheile ausgleicht.

Wenn die Leitung der Elektricität durch Nichtleiter unterbrochen ist, so ist damit auch die weitere Verbreitung der Elektricität gehemmt. Nur dann wird ein nichtleitender Körper, z. B. Luft, von der Elektricität durchbrochen, wenn in der Nähe des ersten ein zweiter Leiter sich befindet, der nur durch eine dünne isolirende Schicht von jenem getrennt wird. Die Durchbrechung dieser isolirenden Schicht geschieht dann allemal, gleich den Platzungen des Blitzes unter Erscheinung von Funken. Man hat hierauf die Construction verschiedener physikalischer Spielwerke gegründet, zu denen der sogenannte Komet gehört. Die ganzen Linien c, c, c, ... (Fig. 168.) stellen höchst feine Streifen von Stanniol dar, die auf eine lange, verhältnißmäßig schmälere Glastafel, oder wenn man eine größere Länge beabsichtigt, auf zwei oder mehre durch einen Rahmen an einander gefügte Glastafeln mit Hausenblase geklebt und mit einem feinen Federmesser an den gehörigen Stellen so durchschnitten sind, daß die Zusammenstellung der dadurch gebildeten Unterbrechungen auf dem Glase die beabsichtigte Figur eines Kometen darstellt, zu welchem Behufe begreiflich die freien Stanniolstreifen selbst schon auf eine passende Weise aufgetragen sein müssen, wie die Figur selbst deutlich genug zeigt. Da wo die Zwischenräume mit einem Kreuze bezeichnet sind, bildet sich die Figur des Sterns; die einfachen Streifen c, c, c, mit denen die horizontalen Linien durchschnitten sind, bilden zusammen den Schweif. Das Ganze wird mit Firniß überzogen. Indem die Entladung in einem untheilbaren Augenblicke durch alle diese Zwischenräume in Form von kleinen Funken hindurchschlägt, werden sie auf einmal erleuchtet und stellen einen siebeneckigen Stern mit einem sich nach unten mehr und mehr erweiternden Schweife dar, den man nach Belieben auf 2, 3 und mehre Fuß verlängern kann. Die Hauptsache hierbei besteht darin, daß auf dem Wege durch die ganze Länge jener Stanniolleitung nirgend eine Stelle sich finde, wo der elektrische Funken durch Ueberspringen auf dem geradesten und kürzesten Wege weniger Widerstand finde, als auf dem langen Umwege die Summe mehrer kleiner Zwischenräume Hemmung entgegengesetzt, daß also z. B. in jenem Kometen n von m noch hinlänglich entfernt sei, um mehr Widerstand zu leisten, als in der Summe der kleinen Zwischenräume, deren Zahl in dem mitgetheilten Schema 14 beträgt, liegt, die zur Hervorbringung der Figur eines Sterns erforderlich sind. Man kann auch Stanniolstreifen auf Glas kleben und sodann dünne Streifchen Stanniol ausschneiden, so daß abwechselnd ein schmaler Stanniolstreifen einem schmalen Glasstreifen folgt. Die Stanniolstreifchen werden hierauf

Digitized by Google

an ihren Enden durch kleine Stückchen Stanniol unter einander verbunden. Macht man nun durch die Stanniolstreifen mit einem Federmesser beliebige Schnitte, welche Namen, Blumen oder andere Gestalten darstellen, so erscheinen diese Bilder im Dunkeln bei der Entladung einer Flasche (oder auch durch den Funken des ersten Leiters einer Elektrisirmaschine) leuchtend.

Wird die Leitung des elektrischen Funkens durch unvollkommene Leiter, wie ein Stück trockenes Holz, eine inwendig angefeuchtete Glasröhre u. dgl., unterbrochen, so entstehen dadurch anhaltend schneidende Funken oder Büschel, welche nicht erschüttern wie der gewöhnliche elektrische Schlag, aber an dem ihnen dargebotenen Theile des Leibes eine sehr unangenehme Empfindung hervorbringen. Man kann mit dieser Art von Funken Schießpulver anzünden, s. d. Art. Schlag, elektrischer.

Die beiden Arten der Selbstentladung einer Flasche unterscheiden sich dadurch, daß in dem einen Falle die nach Ausgleichung strebende Elektricität ihren Weg durchs Glas hindurch, in dem anderen Falle über den unbelegten Theil der Flasche hin nimmt. Die erste Art der Selbstentladung kommt vor, wenn das Glas der Flasche zu schwach ist, um die im vorkommenden Falle zu starke Spannung der Elektricität auszuhalten; ist sie geschehen, so bemerkt man im Glase ein feines Loch, um welches in einem kleinen Umfange von 1 bis 2 Lin. die Masse des Glases gleichsam zerrieben ist, und weiterhin gehen gewöhnlich von dem Loche aus noch längere Risse durch das Glas. Bei der Entladung großer Batterien werden sehr häufig Flaschen zerschmettert, um dieß zu vermeiden, soll man nach Nairne eine Batterie niemals durch einen guten Leiter entladen, ohne den Weg des Ueberganges wenigstens 5 Fuß lang zu machen. — Bei der zweiten Art von Selbstentladung läßt gewöhnlich der über den unbelegten Theil der Flasche hingehende Funke auf dem Glase selbst die Spur seines meist geschlängelten Weges zurück, indem an dieser Stelle das Glas matt erscheint, wie wenn der Weg des Funkens mit Flußsäur eingeätzt worden wäre.

Zu den Selbstentladungen glaube ich noch den Fall rechnen zu müssen, wenn geladene Flaschen, ohne daß ihnen ein entladender Körper genähert wird, ihre Elektricität dennoch verlieren. Ist nämlich der Zuleiter der Flasche, wie angegeben wurde, mit einer Spitze versehen, auf welche die Kugel aufgeschraubt ist, so braucht man die Kugel bei der geladenen Flasche nur wegzulassen und die äußere Belegung derselben mit dem Erdboden in leitende Verbindung zu setzen, alsbald wird die Elektricität durch die Spitze geräuschlos ausströmen und die Flasche entladen werden. Im Dunkeln gewahrt man die Lichterscheinungen, welche beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen aufzutreten pflegen. — S. d. Art. Elektricität. — Man kann diese stille Entladung auch mittelst eines Ausladers, von dem die Kugeln abgeschraubt sind, erhalten, wenn man beide Spitzen desselben der Flasche so nähert, daß die eine der äußeren Belegung, die andere der Kugel der Flasche gegenüber zu stehen kommt. Aus einer Entfernung, die

Digitized by Google

größer als die Schlagweite ist, kommen dann die Feuerpinsel an den Spitzen des Ausladers zum Vorschein, und zwar die posit. an der der negat. Belegung gegenüberstehenden Spitze, die negat. an der der pos. Belegung gegenüberstehenden Spitze. Uebrigens entladet sich allmählig jede geladene Flasche, auch wenn sie keine Spitze, sondern eine Kugel am Ende ihres Ausladers hat, nach einiger Zeit von selbst, indem die Luft, desto eher je feuchter sie ist, eine allmählige Entladung bewirkt. Diese Entladung erfolgt noch um so schneller, je kleiner die Kugel des Zuleiters und je dünner der ihn bildende Draht ist.

Ueber die Wirkungen des Entladungsschlages der Leidner Flasche s. d. Art. Schlag und Batterie.

Fluor, Fluorine (v. d. lat. fluere fließen) bezeichnet in der Chemie einen Stoff, welcher in mehren Verbindungen vorkommt, den man aber bis jetzt noch nicht für sich im reinen unvermischten Zustande hat darstellen können. Er macht einen Bestandtheil mehrer Mineralien aus, des Flußspathes, des Glimmers, des Topases u. s. w., und findet sich auch in den Knochen und im Harn einiger Thiere.

Zu den Verbindungen des Fluors gehört die Flußsäure, eine Verbindung von Wasserstoff und Fluor, welche man durch Destillation von Flußspath mit Schwefelsäure in Gefäßen von Blei oder Platin erhält. Dieselbe ist eine tropfbar flüssige, wasserhelle, äußerst ätzende, sehr flüchtige und starke Säure von stechendem Geruch, deren Dunst die Augen sehr angreift. Die kleinste Menge Säure auf die Haut gebracht erregt heftiges Jucken und es bilden sich Eiterblasen. Die Dämpfe der Flußsäure wirken beim Einathmen sehr schädlich auf die Lunge. Das specifische Gewicht derselben ist 1,06, sie gefriert noch nicht bei — 20°, kocht bei etwas über + 15° und raucht an der Luft. Da die Flußsäure sehr geneigt zu Verbindungen mit Silicium ist, so greift sie das Glas, welches größtentheils aus Kieselerde besteht, an. Man bedient sich daher derselben zum Aetzen in Glas, und man kann mit Hülfe derselben die feinsten Zeichnungen, namentlich Scalen u. dergl. auf das Glas bringen. Hierzu kann man die tropfbar flüssige Säure anwenden, gewöhnlich aber bedient man sich der flußsauren Dämpfe. Gmelin gibt folgende Anweisung zur Aetzung mit Flußsäure.

Das zu ätzende Glas muß zuvor bestens gereinigt sein, was am leichtesten mit frischer Holzasche und Wasser geschieht, indem man es hiermit abreibt, dann mit reinem Wasser abspühlt und mit einem reinen leinenen Lappen trocknet. Hiernach wird das Glas über Kohlen erwärmt und mit einem Deckfirniß überzogen, welcher nur dünn aufzutragen ist, indem man ihn der Gleichförmigkeit wegen auch mit der Fahne einer Rabenfeder auseinanderziehen kann. Den Firniß kann man sich für viele Jahre im Voraus bereiten. Zu diesem Ende schmelzt man 2 Th. weißes Wachs, 1 Th. Mastix, ½ Th. Asphalt und fast ½ Th. venet. Terpentin bei sehr gelindem Feuer in einem neuen Topfe, erhält die Masse wohl eine halbe Stunde bei gelinder Wärme in Fluß, damit der Schmutz zu Boden fällt, gießt den obern Theil der Masse in ein Gefäß mit kaltem Wasser, worin sie sich zu einem unförmigen Klumpen

Digitized by Google

vereinigt, formt einen solchen mit den Fingern zu einer Kugel von der Größe eines kleinen Hühnereies, schlägt diese in ein Läppchen von Taffet und bindet die Ränder des Taffets zu einer Art Stiele zusammen, in welchen man des bequemeren Anfassens wegen auch einen kleinen hölzernen Stab senken kann. Beim Gebrauche wird die eingeschlagene Masse Firniß durch das erwärmte Glas hinlänglich flüssig, um durch den Taffet zu dringen und sich auf das Glas zu legen, insbesondere wenn man das Ueberziehen über Kohlen vornimmt. Nach dem Erkalten des Firnisses kann das Radiren der erforderlichen Striche, Buchstaben, Figuren u. s. w. mit jedem beliebigen metallenen spitzeren oder stumpferen Instrumente, am besten einem stählernen, in der erforderlichen Feinheit oder Breite leicht bewerkstelligt werden, und man überzeugt sich davon, daß der Firniß ganz durchschnitten sei, wenn man das Glas gegen das Licht hält und den eigenthümlichen Glanz der radirten Stellen beobachtet. Demnächst wird der Flußspath gepulvert, in einen gemeinen hessischen, Graphit-, Platin- oder bleiernen Tiegel oder nur einen irdenen Topf geschüttet und mit gleichviel Vitriolöl befeuchtet, wobei man, wenn Glasröhren oder schmale Scalen zu ätzen sind, den Tiegel mit zwei Bretchen bedecken kann, um zwischen diesen den erforderlich breiten Raum zum Aufsteigen der flußsauren Dämpfe zu lassen. Der so vorgerichtete Tiegel wird über gelindem Kohlenfeuer erhitzt, worauf man bald die weißlichen Dämpfe aufsteigen sieht. In diese wird das zu ätzende Glas gehalten, bis es etwas feucht wird, und die radirten Stellen nicht mehr glänzend, sondern blind und etwas weißlich erscheinen. Wird das Aetzen zu lange und bei zu starker Gasentwickelung fortgesetzt, so dringt die Säure unter den Firniß und macht auch die bedeckten Stellen rauh. Glaubt man aber, daß tief genug geätzt sei, so erwärmt man das Glas wieder, reinigt es von dem Firniß durch Abwischen mit Fließpapier, wobei man auch etwas Terpentinspiritus zu Hülfe nehmen kann, und die Arbeit ist vollendet. Will man die Scalen deutlicher machen, so kann man etwas Tusche mit Wasser in die Vertiefungen einreiben, gewöhnlicher aber befeuchtet man etwas Zinnober mit einigen Tropfen Terpentinspiritus, reibt dieses mit dem Finger in die Scale ein und kann zuletzt auch noch etwas trocknen Zinnober vermittelst Baumwolle nachtragen, wodurch das Glas nebst der Scale ein lebhafteres und feineres Ansehen erhält. Durch langen Gebrauch und vieles Reinigen wird der Zinnober aus den Vertiefungen der Scale entfernt, kann aber durch das angegebene Verfahren wieder hergestellt werden. Gmelin bemerkt noch, daß am besten das ganze Glas, worauf geätzt werden soll, mit Firniß bedeckt wird, damit die Säure es nicht irgendwo blind mache, deßgleichen daß das Schmelzen des Aetzgrundes durch zu starke Hitze zu vermeiden ist, auch muß man vorsichtig das Einathmen der sauren Dämpfe vermeiden, weßwegen die Arbeit am besten an einem Orte vorgenommen wird, wo ein schwacher Luftzug dieselben von dem Operirenden entfernt.

Funke, elektrischer, ist diejenige Lichterscheinung, welche bei schneller Vereinigung der entgegengesetzten (der positiven und der nega-

Digitized by Google

tiven) Elektricitäten auftritt. Der elektrische Funke unterscheidet sich von derjenigen Lichterscheinung, welche bei langsamerer Ausstrahlung der Elektricität aufzutreten pflegt, doch gehen beide Erscheinungen in einzelnen Fällen in einander über. Das Erscheinen des Funkens ist allemal mit einem eigenthümlichen Laute verbunden, weßhalb man von einem Ueberschlagen des Funkens spricht. Er tritt am vollkommensten dann auf, wenn einem abgerundeten (stumpfen) elektrischen Körper ein anderer ebenfalls stumpfer Körper, welcher die Elektricität wohl zu leiten vermag, genähert wird. In dem zweiten nicht elektrischen Körper tritt in dem Augenblicke, wo er dem elektrischen Körper (z. B. dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine) genähert wird, die der Elektricität dieses entgegengesetzte Elektricität hervor, und in dem Augenblicke, da der Funke zwischen beiden Körpern erscheint, findet die Vereinigung beider Elektricitäten statt, wie man daraus sieht, daß nach dem Auftreten des Funkens, der gleich anfangs elektrische Körper entladen ist, der zweite Körper aber, wenn er isolirt gehalten wurde, während er vorher unelektrisch war, d. h. beide Elektricitäten geeint enthielt, nun mit derselben Elektricität geladen erscheint, welche vorher der erste Körper zeigte. Durch die Annäherung an den z. B. positiv elektrischen ersten Körper werden die Elektricitäten des zweiten Körpers getrennt, beim Funken ihm die negative entzogen, es bleibt also freie positive an ihm übrig. Vergl. d. Art. Elektricität.

Indem die Physiker angenommen haben, daß der elektrische Funke eine kleinere oder größere leuchtende Kugel sei, welche so schnell von dem einen zum anderen Körper übergehe, daß ihr ganzer Weg auf einmal leuchtend erscheine (etwa wie der einer im Kreis geschwungenen glühenden Kohle); so wurden sie von selbst zu der Frage geleitet, von welchem von beiden Körpern, vom positiv elektrischen oder vom negativ elektrischen, diese leuchtende Kugel denn eigentlich ausgehe. Diejenigen, welche von Einer elektrischen Materie sprechen, müssen natürlich annehmen, daß nur vom positiv elektrischen Körper aus der Funke erfolgen könne, sie nehmen dann den Funken geradezu als die Erscheinung des Uebergehens der elektrischen Materie von dem einen Körper zum anderen an. Die von zwei unterschiedenen Elektricitäten reden, sind dagegen geneigt anzunehmen, daß Lichterscheinungen und zwar unterschiedene von jedem der beiden entgegengesetzt elektrischen Körper ausgehen, die sich in der Mitte oder näher nach dem einen oder dem anderen der beiden Körper zu vereinigen.

Kurze Funken erscheinen als augenblicklich wieder verschwindende leuchtende, cylinderförmige, gerade Fäden, längere Funken dagegen erscheinen geschlängelt oder vielmehr zickzackig. Den Grund hiervon sucht man sich auf dieselbe Weise zu erklären, wie die Zickzackform des Blitzes (s. d. Art.). Ueber den Unterschied, welcher zwischen dem Funken des ersten Leiters einer Elektrisirmaschine und dem der Leidner Flasche stattfindet, s. d. Art. Flasche, Leidner.

Die Färbung des elektrischen Funkens ist nach den verschiedenen Umständen sehr verschieden. Pfaff will im Allgemeinen bemerkt haben, daß der vom positiven Leiter hervorgehende Funke in der größeren

Digitized by Google

und ersten Hälfte seiner Bahn mehr röthlich violett, im letzten Theile der Bahn mehr blau sei. Andere Physiker aber wollen auch diesen gerade entgegengesetzte Bemerkungen gemacht haben. Grotthuß hatte die Farbe des elektrischen Funkens in verschiedenen Dampfarten beobachtet. In Weingeistdämpfen erschien das elektrische Licht sehr schön grün, dabei verwandelten sich die Dämpfe in ein permanentes Gas; auch in Aetherdämpfen erschien das elektrische Licht grün, ganz in der Nähe betrachtet soll es aber weiß und aus beträchtlicher Ferne betrachtet röthlich erscheinen; im Wasserstoffgas erblickt man die Funken von schöner rother Farbe, deßgleichen in verdünnter atmosphärischer Luft. In den Dämpfen des kochenden Wassers erscheint der Funke gelb oder pommeranzenfarben, im trockenen kohlensauren Gase und Sauerstoffgase von dem stärksten Glanze und blau violetter Farbe. In durch eine Queckſilbersäule von 2 Fuß verdichteter atmosphärischer Luft war der Funke lebhafter, als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft und ohne Farbe.

Besonders interessant sind die im luftleeren Raume angestellten Beobachtungen über das Verhalten des elektrischen Funkens. Brandes führt von demselben folgendes an. Eine der schönsten elektrischen Erscheinungen stellt sich dar, wenn man in einem luftleeren Cylinder (Fig. 169.) AB, durch dessen obere Grundfläche AD ein metallischer Leiter EF in dem luftleeren Raum hinabreicht, die Elektricität überströmen läßt. Ist BG, wie gewöhnlich, ein metallener Teller, auf welchem der Cylinder ruht, und läßt man oben positive Elektricität einströmen, so bewirkt diese in ihrem Uebergange auf die untere Ableitung einen zuweilen weißen, meistens aber schön violetten Lichtstrom, der sich, sobald ein andrer Leiter von außen dem Glase genähert wird, in Rücksicht seines Glanzes und seiner Richtung verändert, indem er den durch diesen bewirkten Anziehungen folgt. Setzt man auch am untern Theile des Cylinders der obern Kugel eine Kugel H entgegen, so schießen Lichtströme in schneller Folge von der obern Kugel auf die untere, und nach Hildebrandt's Bemerkungen scheint ein schwächerer Strahl aus der unteren Kugel dem von oben kommenden zu begegnen. Wurde die obere Kugel negativ elektrisirt und blieb die untere in Verbindung mit der Erde, so erkannte Hildebrandt deutlich einen stärkern aus der untern Kugel kommenden, und einen schwächern aus der obern Kugel kommenden Strahl, beide violett, die sich begegneten.

Mehr oder minder deutlich gehen diese Erscheinungen jedesmal hervor, so oft man das Ausströmen der Elektricität in einen luftleeren Raum stattfinden läßt. Die Farben des Lichtes im luftleeren Raume sind ungleich und dieses hängt nach Davy's genauen Versuchen von der Beschaffenheit der Dämpfe ab, mit welchen die verdünnte Luft gefüllt ist.

Davy bediente sich zu diesen Versuchen (Fig. 170.) einer gebogenen Glasröhre ABC, die vermittelst der bei C angeschraubten Röhre mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt wird. Die Glasröhre ward mit ausgekochtem Queckſilber gefüllt, so daß bei A nicht die geringste Luftblase übrig blieb; dann ward die Luft bei C ausgepumpt, so daß durch das Sinken des Queckſilbers in der Röhre BA ein luftleerer

Raum AD entstand; die Röhre C wurde hierauf durch einen Hahn fest verschlossen und von der Luftpumpe abgenommen. Indem man nun das Queckſilber in der Röhre BCD erhitzte, konnte man den Raum AD über dem Queckſilber mit Queckſilberdämpfen von größerer oder geringerer Dichtigkeit füllen, und da ein bei A eingeſchmelzter Draht erlaubte, die Elektricität durch den Raum AD fließen zu laſſen, ſo konnte man die Lichterſcheinungen unter verſchiedenen Umſtänden beobachten. Bei jedem dem luftleeren Raume zugeführten Funken ſtrömte die Elektricität durch dieſen über, und wenn das Glas zum Theil von außen belegt war, ſo nahm dieſe Belegung eine Ladung an. Das Licht der überſtrömten Elektricität war am lebhafteſten und von ſchöner grüner Farbe, wenn das Queckſilber ſehr erhitzt war, alſo die Dämpfe einen bedeutenden Grad von Dichtigkeit beſaßen; die Intenſität des Lichtes nahm ab, wenn die Wärme geringer ward und bei einer Abkühlung bis 25° C. unter Null blieb kaum noch eine Spur von Licht, bei völliger Entfernung aller andern Erleuchtung, ſichtbar. Wenn man bei der Erſcheinung des grünen Lichtes etwas atmoſphäriſche Luft in den mit Queckſilberdämpfen erfüllten Raum gelangen ließ, ſo ward die Farbe des Lichtes, je mehr Luft man hinzuließ, deſto mehr bläulich, endlich blau oder purpurfarben. Ueber geſchmolzenem Zinn ſtatt des Queckſilbers zeigte ſich ein ſehr ſchwaches gelbes Licht; über erhitztem Oele ſtatt des Queckſilbers zeigte ſich das elektriſche Licht roth, etwas in Purpur übergehend.

Die Farbe des Lichtes hängt alſo von den dampfförmigen Materien ab, die ſich in dem Vacuum befinden, und das Leuchten ſelbſt hört bei einer ſehr verminderten Dichtigkeit der Dämpfe und der Luft beinahe völlig auf. Nach Davy's Anſicht iſt es alſo vorzüglich eine durch die Natur der wägbaren Subſtanzen in dem von Luft entleerten Raume bewirkte Erſcheinung, die wir hier beobachten; doch ſcheint ihm der noch ſichtbare ſchwache Ueberreſt von Licht bei einem faſt unendlich dünnen Queckſilberdampfe in tiefer Temperatur nicht wohl hierdurch erklärlich zu ſein. Bei ſehr großen Kältegraden wurde die Schnelligkeit der Entladung oder das Durchſtrömen durch den luftleeren Raum ſtark vermindert, ſo daß eine ſchwach geladene Flaſche alsdann durch die torricelliſche Leere hindurch nicht mehr mit Exploſion entladen werden konnte, ſondern ihre Elektricität nur langſam verlor. Hiernach ſchienen alſo vorzüglich die den luftleeren Raum immer erfüllenden Dämpfe die Leitung der Elektricität zu bewirken.

Zu den Erſcheinungen der Elektricität im luftleeren Raume gehört noch das Leuchten der Barometer, Lichterſcheinungen, die nur im Dunkeln ſichtbar ſind, und durch die Reibung des Queckſilbers am Glaſe und die dabei auftretende Reibungselektricität bewirkt werden, wenn man das Queckſilber in der Barometerröhre den luftleeren Raum durchlaufen läßt.

Die Farbe des elektriſchen Funkens wird auch durch feſte Körper beſtimmt, über deren Oberfläche er hinſtreicht. An der Oberfläche von verſilbertem Leder erſcheint er z. B. glänzend grün, ein langer über Kohlenpulver hinſtreichender Funke iſt gelb. Als van Marum den

Digitized by Google

Strahl durch die torricelliſche Leere über Phosphor ſtreichen ließ, ſo erſchien das Licht deſſelben auffallend verändert, größtentheils von grünlichgelber Farbe in der Mitte, und wo der Strahl am dichteſten war, ſo wie an der Oberfläche des Phosphors, von einem lebhaften Roth.

In allen bisher angeführten Fällen erfolgte die Erſcheinung des elektriſchen Funkens in einem gasförmigen (oder luftleeren) Medium, man kann denſelben indeß auch in tropfbaren Flüſſigkeiten, z. B. in Waſſer, Oel, Aether u. ſ. w. beobachten. Man nehme eine Glasröhre von etwa 6 Zoll Länge und $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmeſſer, verſchließe beide Enden mit Korken, nachdem man ſie mit der beim Verſuche anzuwendenden Flüſſigkeit angefüllt hat, ſtecke durch die Korke Drähte und nähere dieſelben einander in der Röhre bis zu einem ſehr geringen Abſtande von einander. Hierauf ſetze man den einen der Drähte mit der äußeren Belegung einer geladenen Flaſche in Verbindung, und den anderen durch einen Auslader mit dem Knopfe der Flaſche. Alsbald wird man zwiſchen beiden Drähten einen lebhaften Funken innerhalb der Röhre überſpringen ſehen. Die Flaſche deren man ſich hierbei bedient darf nicht zu groß ſein, damit nicht durch die Exploſion die Glasröhre zerſprengt werde. Ferner müſſen die Drähte innerhalb der Röhre nahe bei einander ſtehen, wenn der Funke erſcheinen ſoll, denn findet ſich zwiſchen ihnen eine Schicht der Feuchtigkeit von mehren Zollen, ſo leitet die Flüſſigkeit die Elektricität ſtill fort, ohne daß irgend eine Exploſion erfolgt.

Zur Meſſung der Länge der elektriſchen Funken kann man ſich eigener in ihrer Conſtruction einfacher Inſtrumente bedienen, welche verſchiedene Phyſiker unter dem Namen Funkenmeſſer angegeben haben. Indem man ſich wie gewöhnlich zur Entlockung oder Ausziehung des elektriſchen Funkens einer metallenen Kugel bedient, wird, um die Größe der Annäherung dieſer Kugel an den elektriſchen Körper zu beobachten, an die Kugel ein Stiel angebracht, mit dem ſie ſich verſchieben läßt und an dem eine Eintheilung angebracht iſt, an welcher man die Größe der Annäherung ſchätzen kann. Zur Beſtimmung ſehr geringer Unterſchiede kann man ſich einer langen ſchraubenförmig eingeſchnittenen Stange mit bekannter Weite der Schraubengänge als Stiel der Kugel bedienen.

Ueber den galvaniſchen Funken, der übrigens weſentlich derſelben Natur mit dem Funken der Reibungselektricität iſt, ſ. d. Art. Galvanismus.

Fuß, Schuh, das gebräuchlichſte Längenmaß, welches den meiſten übrigen Längenmaßen zum Grunde liegt und welches die Länge eines ausgewachſenen Mannsfußes hat. Da dieſe Beſtimmungen ſehr ungenau ſind, ſo bedient man ſich auch an den verſchiedenen Orten eines ſehr verſchieden langen Fußmaßes. Das am häufigſten vorkommende Fußmaß iſt das pariſer. Der pariſer oder königliche Fuß wird in 12 Zoll, der Zoll in 12 Linien und die Linie noch in 10 Points (franz., Punkte) getheilt. Die Werkleute theilen aller Orten den Fuß gewöhnlich in 12 Zoll, den Zoll in 12 Linien, die Geometer dagegen

Digitized by Google

den Fuß in 10 Zoll und den Zoll in 10 Linien ein. Da es sehr wichtig ist, das Verhältniß der in den verschiedenen Gegenden gebräuchlichen Fußmaße unter einander zu kennen, so theile ich nachstehende Tabelle mit, welche die Größe des Fußes der verschiedenen Länder und Orte in Meter's und Wiener Fußen ausgedrückt gibt.

Namen der Oerter und Maße.	Enthält	
	Meter.	Wiener Fuß.
Aarau: Fuß = 12 Zoll	0.300025	0.949140
Aleſſandria: Ordinärer Fuß = 8 Z.	0.342435	1.083304
" Limprandiſcher F. = 12 Z.	0.513670	1.625013
Altona: Fuß	0.286490	0.906321
Ancona: Fuß	0.390710	1.236023
Appenzell: Fuß	0.314688	0.995526
Barcellona: Canna	1.581330	5.002589
[illegible]: Fuß	0.298200	0.943365
Berlin: Fuß preußiſcher od. rheinl.	0.313853	0.992886
Bern: Fuß	0.293325	0.927943
Botzen: Fuß	0.334120	1.0570
Braunſchweig: Fuß	0.285360	0.902746
Bremen: Fuß	0.289200	0.914894
Cadix: Pies	0.282635	0.894188
Cagliari: Palmo	0.235311	0.744415
Carlsruhe: Fuß badenſcher	0.300025	0.949140
Caſſel: Fuß heſſiſcher	0.287699	0.910145
Copenhagen: Fuß däniſcher	0.313842	0.992850
Cracau: Stopa (Fuß)	0.356421	1.127550
Darmſtadt: Fuß	0.2500	0.790883
Dresden: Fuß ſächſiſcher	0.282655	0.894190
Ferrara: Fuß	0.401312	1.269564
Frankfurt a. M.: Fuß	0.284600	0.900341
Freiburg: Fuß	0.293258	0.927731
Fulda: Werkfuß	0.282880	0.894900
Genf: Fuß	0.487936	1.543601
Genua: Canna	2.498300	7.903454
Glarus: Fuß	0.300025	0.949140
Gotha: Fuß	0.287618	0.909889
Gröningen: niederl. Palme	0.100000	0.316353
Hamburg: Fuß	0.286490	0.906321
Hanau: Fuß	0.285200	0.902239
Hannover: Fuß	0.291990	0.923720
Hildesheim: Fuß	0.280173	0.886336
Lauſanne: Fuß	0.293258	0.927731
Lemberg: Fuß	0.296965	0.939459
Lemgo: Fuß	0.287593	0.909811

Digitized by Google

Namen der Oerter und Maße.	Enthält	
	Meter.	Wiener Fuß.
Lissabon: Palmo (Fuß)	0.218588	0.691510
London: Fuß englischer	0.304794	0.964227
Lübeck: Fuß	0.291002	0.920594
Lucca: Fuß	0.589908	1.866193
Lucern: Fuß	0.314688	0.995526
Madrid: Pies	0.282655	0.894188
Mahon: Palma	0.214473	0.678492
Messina: Fuß sicilischer	0.242050	0.765733
Modena: Fuß	0.517712	1.637799
München: Fuß bairischer	0.291859	0.923306
Neapel: Palmo	0.263630	0.834002
Neufchatel: Fuß	0.300020	0.949123
Nizza: Palmo	0.2650	0.838336
Oldenburg: Fuß	0.296415	0.937718
Osnabrück: Fuß	0.279272	0.883485
Paris: Fuß französischer	0.324839	1.027640
Petersburg: Saschén (Klafter)	2.134466	6.752452
Pisa: Passeto	1.167252	3.692640
Prag: Fuß böhmischer	0.296398	0.937667
Rom: Bau = Cama	2.233271	7.065026
St. Gallen: Fuß	0.314688	0.995526
Stockholm: Fuß schwedischer	0.296838	0.939056
Stuttgard: Fuß = d. Hamburg. Fuß.		
Venedig: Fuß	0.347735	1.100070
Warschau: Stopa	0.2880	0.911097
Weimar: Fuß	0.281979	0.892049
Wien: Fuß	0.316102	1.000000
Wiesbaden: Fuß	0.287844	0.910603
Zürch: Fuß	0.300025	0.949139

Digitized by Google

G.

Galvanismus, Galvanische oder Voltasche, Berührungs- oder (lat.) Contact-Elektricität heißt diejenige Elektricität, welche durch die Berührung zweier ungleichartiger Metalle oder überhaupt zweier ungleichartiger Körper erregt wird, und die zuerst entdeckt und beobachtet wurde von den Naturforschern Galvani und Volta, nach denen sie daher auch benannt worden ist. Von der Reibungselektricität unterscheidet sich die Galvanische ihrem Wesen nach gar nicht, wie von ausgezeichneten Physikern dargethan worden, aber wohl ist der Zustand, in welchem sie auftritt, ein ganz eigenthümlicher: der Zustand einer continuirlichen (ununterbrochenen) und in sich zurückkehrenden Bewegung oder Strömung in den Leitern.

Die Entdeckung dieser Klasse höchst interessanter elektrischer Erscheinungen verdanken wir einem Zufall, durch den Ludwig Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, zu Beobachtung der physiologischen Wirkungen der Berührungselektricität geführt wurde. Pfaff theilt folgende Nachrichten von der Erfindung des Galvanismus mit.

Eines Abends, als Galvani in Gesellschaft einiger Freunde sich auf seinem Zimmer mit Versuchen beschäftigte, wollte es der Zufall, daß mehre enthäutete Frösche (die nach Alibert eigentlich zu Brühen für Galvani's kranke Gattin bestimmt waren) auf einem Tische lagen, wo zugleich eine Elektrisirmaschine sich befand. Ohne etwas dadurch zu beabsichtigen, brachte ein Gehülfe die Spitze des Scalpells an die Cruralnerven eines solchen Frosches und sah mit Erstaunen, daß in demselben Augenblicke die Schenkelmuskeln sich convulsivisch zusammenzogen. Ein anderer (oder wie Alibert und Sue nach genauen Privatnachrichten angeben, Galvani's eigene Gattin, worauf auch ein zu Ehren dieser Entdeckung verfertigtes Sonnett hinweist) glaubte zu bemerken, daß diese Zuckungen nur dann erfolgten, wenn in demselben Augenblicke aus dem vom Frosche ziemlich entfernten Conductor der Elektrisirmaschine ein Funke ausgezogen wurde. Man (oder nach Alibert, Galvani's Gattin) eilte die seltsame Erscheinung Galvani (ihrem Gatten), der so eben das Zimmer verlassen hatte, zu hinterbringen. Er fand durch wiederholte Versuche diese Abhängigkeit der Zuckungen bei Berührung der Cruralnerven mit der Messerspitze von dem Ausziehen des Funkens aus dem Conductor vollkommen bestätigt. Wäre Galvani damals mit den Gesetzen des elektrischen Einflusses oder der Atmosphärenwirkung und der Kraft der elektrischen Strömung als eines der wirksamsten Nervenreize vorzüglich in Hervorbringung von Zuckungen, wie sie damals schon constirten, vollkommen bekannt gewesen, so würde das anscheinend Seltsame und Außerordentliche der Erscheinung auch sogleich für ihn aufgehört haben, und die ferneren Versuche, die erst zu galvanischen Erscheinungen führten, würden dann

Digitized by Google

schwerlich von ihm angestellt worden sein. Man übersieht nämlich leicht, daß die Berührung der Nerven mit einem guten Leiter, wie einem Scalpell, in dem Augenblicke, als der Funke aus dem Conductor ausgezogen wurde, und folglich die Ursache aufhörte, welche vorher das elektrische Gleichgewicht gestört hatte, die Bedingung lieferte, unter welcher dieses Gleichgewicht durch schnelles Zuströmen der mit derjenigen des Conductors gleichnamigen und von ihm vorher zurückgetriebenen Elektricität augenblicklich wieder hergestellt werden konnte, welches schnelle Ein- und Durchströmen von Elektricität in den Nerven den wirksamen Reiz bildet. Glücklicherweise bot sich Galvani diese Erklärung nicht dar, vielleicht darum nicht, weil er in diesen auffallenden Erscheinungen eine Bestätigung seiner Lieblingshypothese von einer den Thieren eigenthümlichen Elektricität sah. Er verfolgte daher diese Versuche weiter und prüfte unter andern auch den Einfluß der Luftelektricität auf die Erzeugung der Zuckungen in den Froschpräparaten. In dieser Absicht hatte Galvani mehre zubereitete Froschextremitäten an dem eisernen Gitter eines Gärtchens aufgehangen, es erfolgte aber, so lange er auch wartete, kaum die leiseste Zuckung. Des langen Harrens müde, bog er die Metalldrähte, welche durch das Rückenmark des Thieres gestochen waren, gegen das Gitter zurück, um vielleicht auf diese Art durch Zuführung der atmosphärischen Elektricität durch dasselbe seinen Zweck zu erreichen, und in der That erhielt er jetzt starke Zusammenziehungen der Muskeln, die jedoch, nach allen übrigen Umständen zu schließen, mit den Veränderungen der atmosphärischen Elektricität in keinem Verhältniß zu stehen schienen. Um sich hiervon völlig zu überzeugen, wiederholte Galvani in einem wohl verschlossenen Zimmer zu verschiedenen Stunden des Tages dieselben Versuche, indem er das Froschpräparat auf eine eiserne Scheibe legte und den in das Rückenmark gesenkten Haken in Berührung damit brachte, wo sich dann bei jedesmaliger Berührung lebhafte Zusammenziehungen zeigten. Diese im eigentlichen Sinne galvanischen Versuche wurden nun noch weiter von ihm verfolgt und führten ihn zu seiner Hypothese einer eigenthümlichen thierischen Elektricität der Muskeln, welche letztere er mit einer Leidner Flasche verglich, die durch den leitenden Bogen, durch welchen die Kette geschlossen wird, von deren Schließung das Eintreten der Zuckungen abhängt, entladen werde.

Wenn die entgegengesetzten Elektricitäten der Belege einer Leidner Flasche durch eine Leitung mit einander in Verbindung gesetzt werden, so erfolgt eine Entladung der Flasche, und machen einen Theil dieser Leitung hinreichend empfindliche thierische Theile aus, so werden Zuckungen in diesen durch die Elektricität hervorgebracht werden. Gesetzt nun es wird durch die Berührung zweier Metalle Elektricität so erregt, daß das eine Metall positiv das andere negativ elektrisch wird, so werden auch hier, wenn durch einen thierischen Theil Verbindung beider Elektricitäten und Entladung der beiden Metalle bewirkt wird, Zuckungen in dem thierischen Theile stattfinden müssen, sobald dieser selbst die hinlängliche Reizbarkeit besitzt. Hierin ist, wie spätere Versuche bestätigt haben, in Wahrheit die Erklärung des von Galvani

Digitized by Google

beobachteten Falles enthalten, aber weder Galvani noch die meisten Physiker, welche zuerst die von ihm gemachten Versuche wiederholten, verfielen auf diese Erklärung, welche eine Elektricitätserregung durch Berührung heterogener Metalle voraussetzte, sondern vielmehr suchten sie die Quelle der sich äußernden Elektricität in den Nerven und Muskeln des thierischen Theiles und glaubten, daß eine eigenthümliche thierische Elektricität bei Verbindung der Nerven und Muskeln durch einen metallischen Bogen veranlaßt würde, von den einen zu den andern zu kreisen und hierbei die Zuckungen bewirkte. In dieser Annahme wurden sie noch durch Versuche bestärkt, welche bald näher angeführt werden sollen und bei denen allerdings keine Berührung heterogener Metalle mit einander, dennoch aber Elektricitätserregung stattfand.

Alexander Volta war jedoch in jener Zeit der einzige, welcher sich nicht durch Galvani's Annahme einer thierischen Elektricität und die dafür scheinbar sprechenden Versuche irre machen ließ, sondern alsbald den Quell der Elektricität in der Berührung der heterogenen Metalle suchte. Er wiederholte die Galvanischen Versuche und zeigte, wie sie sich auf die angegebene Weise erklären ließen. Die beste Art, den Versuch mit dem präparirten Frosche zu wiederholen, ist folgende: Man schneide den Körper eines lebendigen Frosches quer unter den vorderen Extremitäten durch, ziehe schnell von den ganzen hintern Extremitäten die Haut ab, entblöße hierauf die Schenkelnerven, NN in Fig. 171., von allem Fleische und allen sie bedeckenden Theilen und schneide darauf die Wirbelsäule so ab, daß Ober- und Unterschenkel nur an diesen Nerven hängen bleiben. Darauf wickele man ein kleines Kupfer-, Zinn- oder Zinkblatt darum, lege den so präparirten Frosch auf eine isolirende Unterlage, z. B. mit Gummilack gefirnißte Glasplatte, nehme ein in einen Bogen gekrümmtes Stück von irgend einem anderen Metalle, setze es mit einem Ende auf die Belegung der Nerven, mit dem anderen auf die Schenkelmuskeln auf und es werden alsbald sowohl in dem berührten als auch in dem andern Beine Zuckungen eintreten. Diese Zuckungen lassen sich einige Zeit nach dem Tode nicht mehr erregen, welcher Zeitpunkt desto eher eintritt, je öfter man dieselbe erregt hat. Indeß lassen sie sich anfangs, wenn sie schwächer zu werden beginnen, durch Anwendung aller Reizmittel, welche die thierische Erregbarkeit zu steigern vermögen, wieder anfrischen.

Galvani suchte seine Behauptung von der Gegenwart einer eigenthümlichen thierischen Elektricität dadurch zu erweisen, daß er sich zu zeigen bemühte, wie nicht zwei heterogene Metalle zum Gelingen des Versuches nöthig wären, sondern wie derselbe auch nur mit Einem Metalle hervorgebracht werden könne. Allerdings fand er auch, daß, wenn man z. B. einen frisch präparirten Frosch alsbald auf ein reines Quecksilberbad werfe, in der Regel Zuckungen eintreten. Aber Volta zeigte, daß die geringste Verschiedenheit der Metalle, ja Metalles derselben Art hinreichend wäre zur Elektricitätserregung, und eine solche Verschiedenheit der Theile des Queckſilbers mußte entweder in dem eben angeführten Falle stattfinden, oder die Berührung der Metalle, mit denen der Frosch präparirt wurde, mußte die Erregung der Elektricität bewirkt

Digitized by Google

haben. Folgender Versuch bestätigte, wie gering der Unterschied der Metalle zu sein brauche, um bei ihrer Berührung dennoch Elektricitätserregung zu bewirken. Belegt man die Nerven des in angegebener Art präparirten Frosches mit einem Blatte unreinen Blei's, wie es die Glaser brauchen, und schließt den Kreis (vom Metall um die Nerven zu den Muskeln) vollends durch einen Bogen von dem nämlichen Metalle, das von dem nämlichen Blatte genommen, also mit jenem von ganz gleicher Beschaffenheit ist, so erfolgen gewöhnlich keine Zuckungen. Bedient man sich hingegen zu Schließung des Kreises gereinigten Blei's, wie die Probirer sich desselben bedienen, während die Belegung der Nerven die nämliche bleibt, so treten sogleich Zuckungen ein, es reicht nach Hallé sogar schon hin, den Bogen aus einem Metall an ein anderes Metall zu reiben, um ihm eine hinreichende Heterogeneität zu ertheilen. Galvani's Meinung schien sich dennoch zu bestätigen als es demselben gelang, bei einem mit größter Vorsicht gemachten Präparate Zusammenziehungen durch bloße Berührung der Muskeln und Nerven des Thieres selbst hervorzubringen, ohne irgend welche dritte Substanz zu Schließung des Kreises anzuwenden. Um diese Wirkung zu erhalten, muß man (nach Biot) den Frosch in angegebener Weise schnell präpariren, ihn dann mit einer Hand an einem seiner Schwimmfüße fassen und in umgekehrter Lage halten, so daß die Schenkelnerven isolirt herabhängen unter dem Gewicht des kleinen Rests von Wirbelsäule, der daran gelassen ist, darauf ergreift man den freien Fuß mit der anderen Hand und beugt ihn so zusammen, daß der Schenkel in Berührung mit den Nerven kommt. Sogleich treten, wenn der Frosch sehr viele Lebenskraft hatte, Zuckungen ein. Man muß den Versuch öfters an mehren Fröschen wiederholen, ehe er einmal gelingt.

Indeß dient dieser Versuch nicht sowohl zur Widerlegung, sondern vielmehr zur Erweiterung der Voltaschen Behauptung. Er zeigt nämlich, daß nicht allein zwei Metalle, mit einander in Berührung gebracht, Elektricität zu erregen vermögen, sondern überhaupt je zwei heterogene Körper, wie in dem zuletzt angeführten Falle Muskeln und Nerven sind. Volta bewies indeß direct durch Versuche, daß bei der Berührung heterogener Metalle Elektricitätserregung stattfinde, indem er die Elektricität direct durch das Elektroskop nachwies. Hieraus leuchtet dann von selbst ein, daß die Froschschenkel in Galvani's Versuche selbst nur als äußerst empfindliches Elektroskop sich verhielten. Dieses sind die bekannten Voltaschen Fundamentalversuche (lat., Grundversuche).

Man nehme zwei Scheiben von verschiedenen Metallen, etwa die eine von Zink, die andere von Kupfer, von etwa einem Quadratzoll Fläche, die recht eben, nicht gefirnißt und in ihrer Mitte mit isolirenden, senkrecht auf ihre Oberfläche angebrachten Stäbchen versehen sind, mittelst deren sie sich, ohne daß man sie selbst berührt, an einander bringen lassen. Diese kleinen Handhaben lassen sich leicht herstellen, wenn man die Scheiben vorher erhitzt und dann ein Stäbchen von Gummilack oder Siegellack daranschmilzt. Diese beiden Scheiben werden an den isolirten Handhaben gehalten und bis zur Berührung einander genähert, darauf wieder getrennt, indem man sie parallel von einander

Digitized by Google

zieht, und darauf ihr elektrischer Zustand mittelst eines Elektroskops geprüft. Da jedoch die Elektricität, die sich durch eine einmalige Berührung auf denselben entwickelt, immer ausnehmend schwach ist, so muß man, um sie deutlich merkbar zu machen, das Elektroskop mit einem Condensator versehen und auf diesem die Elektricität von mehren Berührungen anhäufen, indem man seine obere Platte mit dem Erdboden in Verbindung setzt, und seine untere Platte, welche mit den Strohhalmen oder den Goldblättern in Verbindung steht, mit der Metallscheibe berührt, deren Elektricität man prüfen will. Ist dieß geschehen, so zieht man diese Scheibe zurück, berührt sie, so wie die andere, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen, bringt sie dann aufs Neue isolirt mit einander in Berührung, trennt sie abermals und bringt die zu prüfende Scheibe wieder an den Condensator. Hat man die Berührung auf diese Weise sieben- oder achtmal wiederholt und hebt nun die obere Platte des Condensators ab, so divergiren die Goldblättchen oder Strohhalme sehr stark vermöge der durch die wiederholte Berührung der Metallscheibe in die obere Platte abgesetzten Elektricität und man kann solchergestalt die Beschaffenheit dieser Elektricität prüfen und erkennen. Zum Gelingen des Versuchs ist erforderlich, daß die Platten des Condensators auf den Oberflächen, auf welchen man die Elektricität an sie absetzt, frei von Firniß sind, denn das geringste Hinderniß würde, da sie sich in einem solchen Zustande von Schwäche befindet, ihrem Eindringen hinderlich sein. Zur Schärfe des Versuchs ist überdieß noch nöthig, daß jede Platte aus demselben Metall bestehe, als die Scheibe, mit welcher man sie berührt, widrigenfalls der elektrische Einfluß dieser neuen Berührung sich mit dem Erfolge der ersten verbinden und ihre Wirkung modificiren würde. Hat man nun, unter Beachtung dieser Vorsichtsmaßregeln, die Kupferscheibe mit der untern Platte des Elektroskops in Berührung gebracht, so findet man, daß dasselbe vermöge negativer Elektricität divergirt; wurde dagegen die Berührung mit einer Zinkplatte vorgenommen, so zeigt sich die Elektricität positiv.

Der angegebene Versuch kann noch auf mannigfache Weise abgeändert und modificirt angestellt werden und da auf diese Grundversuche die ganze Lehre vom Galvanismus sich stützt, so führe ich noch einige derselben auf.

Man kann die untere Platte des Condensators selbst statt der einen Scheibe anwenden, um gegen ihr Metall die andere Scheibe zu prüfen. Ist z. B. diese Platte von Kupfer, so berühre man sie, während man die obere Platte des Condensators mit dem Boden in leitender Gemeinschaft erhält, wiederholt mit einer isolirt gehaltenen Zinkscheibe in einer möglichst großen Fläche, dabei Sorge tragend, nach jedesmaligem Zurückziehen die Zinkscheibe wieder in ihren natürlichen Zustand zu versetzen, und hebe darauf die obere Platte des Condensators ab. Das Elektroskop wird vermöge der negativen Elektricität divergiren, die das Kupfer der Collectorplatte durch Berührung mit dem Zink angenommen hat.

Man lasse sich ferner einen Condensator verfertigen, dessen eine Platte aus Zink, die andere aus Kupfer besteht, und anstatt eine die-

Digitized by Google

ser Platten mit dem Erdboden in Verbindung zu setzen, lasse man beide isolirt auf dem Elektroskop. Man verfahre mit Berührung und Trennung der erregenden Scheiben wie beim ersten Versuche; nach jedesmaliger Trennung aber berühre man zu gleicher Zeit jede der Condensatorplatten mit derjenigen von beiden Scheiben, welche mit ihr aus dem gleichnamigen Metall besteht. Die entgegengesetzten Elektricitäten beider Scheiben werden respectiv auf die Condensatorplatten übergehen und sich auf den gegenüberliegenden Flächen derselben binden. Nach einigemal wiederholten Uebertragungen trenne man die Condensatorplatten und man wird jede derselben mit der Art Elektricität geladen finden, welche der Scheibe zukommt, mit welcher sie berührt wurde.

Noch einfacher läßt sich der eben angegebene Versuch auf eine Art anstellen, bei welcher die Platten des Condensators selbst zugleich die Elektricität erregend und sie condensirend wirken. Dieß geschieht, wenn z. B. die obere von Zink, die untere von Kupfer ist, dadurch, daß man beide durch einen isolirten Kupfer- oder Zinkdraht, wenn auch nur einen Augenblick lang, in Verbindung setzt und nach wiederaufgehobener Verbindung die obere Condensatorplatte an ihrem isolirten Handgriffe abhebt.

Bei diesem Versuche geschieht die elektrische Erregung in der Berührung, die der verbindende Kupfer- oder Zinkdraht mit dem Metall der ungleichnamigen Condensatorplatte eingeht, und die so auf das Kupfer und Zink übergehenden entgegengesetzten Elektricitäten binden sich dann, wie bei der vorigen Art den Versuch anzustellen, auf den Gegenflächen beider Condensatorplatten, um nach Trennung derselben von einander frei zu werden. Das Elektroskop wird daher, nach Abheben der oberen oder Zinkplatte, mit negativer Elektr. divergiren.

Aus allen diesen Versuchen geht klar hervor, daß die heterogenen Metalle, wie angenommen wurde: Kupfer und Zink, durch die bloße Berührung an einander elektrisch werden; dabei wird das Zink positiv, das Kupfer negativ elektrisch. Nennen wir denjenigen Zustand, in welchem die Körper keine weder negat. noch posit. Elektr. zeigen, den natürlichen Zustand der Körper, denjenigen, in welchem sie 0 Elektr. zeigen, und nehmen wir ferner an, daß ein solcher Körper negat. und posit. Elektr. zwar enthalte, aber so, daß eine die andere bindet, neutralisirt *), also keine von beiden als freie Elektr. wahrnehmbar ist, so können wir, was bei der Berührung geschieht (indem wegen der Isolirung kein anderer Elektricitätsquell vorhanden ist, als die beiden Platten selbst), als ein Uebergehen eines Theils der vorher gebundenen posit. Elektr. des Kupfers an das Zink, und gleichzeitig eines Theiles der negat. Elektr. des Zinks an das Kupfer bezeichnen. Grund dieses Austausches der Elektricitäten ist offenbar die Berührung, aber wie, auf welche Weise, ist ein so großes Räthsel wie das Wesen der Elektr. selbst, man nennt aber diese unbekannte die Elektr. in Bewegung setzende Kraft (lat.) die elektromotorische Kraft, jede Doppelverbindung

*) Vergl. d. Art. Elektricität.

Digitized by Google

zweier heterogener Metalle, in sofern als bei ihrer gegenseitigen Berührung Elektr. erregt wird, einen Elektromotor (gewöhnlich ein Paar von sich berührenden Platten), und das gegenseitige Verhältniß beider Metalle zu einander, demgemäß das eine positiv das andere negativ elektrisch wird, ihr elektromotorisches Verhältniß.

Bei der Elektricitätserregung durch die Berührung zweier heterogener Metallplatten wird nur ein Theil der in jeder Platte neutralisirten Elektricität entbunden und von der einen Platte zur andern übergeführt, oder es wird von den beiden Platten bei der Berührung jede nur bis zu einem gewissen Grade geladen, haben die Platten denselben erreicht, so findet keine weitere Elektricitätserregung mehr statt. Diese tritt indeß alsbald wieder bis zu dem vorigen Grade der Ladung ein, wenn den Platten der einmal entwickelte Antheil Elektr. wieder entzogen wird, und zwar immer aufs neue, so oft diese Entziehung stattfindet. Entladet man von zwei in Berührung gewesenen Platten nur die eine und stellt dann ihre Berührung mit der anderen noch elektrisch verbliebenen wieder her, so findet sich, daß sie nicht eher wieder merklich geladen werden kann. Daher muß man in den Versuchen, um eine neue Elektricitätserregung durch Berührung zu bewirken, auch die zweite, nicht vom Condensator entladene Platte ihrer Elektr. berauben.

Hieraus sieht man nun, daß wegen der Möglichkeit die Elektricitätserregung unendliche Male zu wiederholen, jeder Körper ein unerschöpflicher Elektricitätsquell sei; ferner aber auch, weil die Ladung der Platten bei der Berührung immer nur einen bestimmten endlichen Grad erreicht, gleichzeitig mit der Elektricitätszersetzung ein Widerstand sich entwickelt, welcher dieselbe nur bis zu einem gewissen Grade stattfinden läßt. Dieser Widerstand wird, da er gleichsam in einer Kraft besteht, welche eine weitere Elektricitätszersetzung sogleich wieder aufwägt, (lat.) die recomponirende Kraft genannt. Dieselbe läßt sich auf die uns sonst bekannten Eigenschaften zurückführen. Unfehlbar muß sie ihre Entstehung den Elektricitäten selbst verdanken, weil nach Entziehung der Elektricitäten die Elektricitätszersetzung immer aufs neue wieder beginnt. Die entgegengesetzten Elektricitäten müssen übergeführt auf die entgegengesetzten Platten so wie die wechselseitige Abstoßung ihrer Theilchen unter sich, so auch ihre wechselseitige Anziehung gegen einander äußern, wie stets, wenn sie sich auf zwei einander sehr nahen Körpern befinden. Diese Kräfte sind, wie bekannt, der Dicke oder Intensität der auf jeder Platte angehäuften Elektricitätsschicht direct proportional, und es muß folglich bei fortwährend thätiger elektromotorischer Kraft stets ein Grad der Anhäufung erreicht werden, wo diese Kräfte, welche die Elektricitäten wieder über die Berührungsoberfläche hinauszutreiben streben, so stark werden, um mit der trennenden Kraft der Berührung ins Gleichgewicht zu kommen, und dann wird keine weitere Anhäufung erfolgen können, indem jedes neue Quantum, was die elektromotorische Kraft etwa zu zersetzen vermöchte, auch sofort wegen der entsprechend zum Ueberwiegen gebrachten Anziehungskraft sich wieder über die Berührungsoberfläche hinaus vereinigen müßte. Dieser Punkt des Gleichgewichts wird bei einem größern oder geringern Grade der Ansammlung erreicht

Digitized by Google

werden, je nachdem die elektromotorische Kraft selbst größer oder geringer ist.

Bringt man eine isolirte Metallplatte mit einer nicht isolirten in Berührung, so nimmt die erstere eine stärkere Elektr. an, als wenn sie mit einer isolirten Metallplatte in Berührung gebracht worden wäre; die nicht isolirte Platte zeigt natürlich 0 Elektr. Die stärkere Elektr. der isolirten Platte in diesem Falle erklärt sich aus dem Umstande, daß die recomponirende Kraft hier nur halb so groß ist, als wenn auch die zweite Platte isolirt gewesen wäre; es strebt nämlich nun nicht mehr die wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten auf beiden Platten, sondern nur die Abstoßung der Theilchen der Elektr. unter einander auf der isolirten Platte die Elektr. über die Berührungsoberfläche hinauszutreiben.

Bei folgenden Fundamentalversuchen ist nur die eine der beiden in Berührung gesetzten Platten isolirt.

Man kann zuvörderst den zuerst angeführten Fundamentalversuch unter der Abänderung wiederholen, daß man die eine Scheibe, anstatt an einem isolirten Handgriff, direct mit der Hand anfaßt oder auf eine nicht isolirte Unterlage legt, und die andere isolirt gehaltene an dem Condensator prüft. Man wird hier, die Stärke der Anzeigen abgerechnet, mit jenem ersten Versuch ganz übereinstimmende Resultate erhalten.

Auch hier kann man aber noch einfacher so verfahren (und dieß ist überhaupt die bequemste Art, mittelst des Condensators Versuche über das elektromotorische Verhältniß der Metalle anzustellen), daß man die untere oder Collectorplatte des Condensators selbst zu einem Gliede des Elektromotors macht. Gesetzt, sie wäre Kupfer, so faßt man eine Zinkscheibe mit den Fingern und setzt diese, wenn auch nur einen Augenblick, mit der Collectorplatte in Berührung, während man zugleich die obere Platte des Condensators mit dem Boden in leitender Gemeinschaft erhält. Darauf zieht man die Zinkscheibe weg und hebt nun die obere Condensatorplatte ab. Das Elektrometer wird wiederum vermöge der negativen Elektr. divergiren, die das Kupfer des Condensators durch Berührung mit dem Zink angenommen hat. Auch in diesem Falle reicht eine einmalige Berührung und möglichst kleine Berührungsfläche hin, um die größtmöglichste Wirkung zu erhalten, wovon der Grund bald näher erörtert werden wird.

Die vorigen Arten, den Versuch anzustellen, erlauben keine Prüfung sehr verschiedenartiger Metalle in Bezug auf ihr elektromotorisches Verhältniß, wenn man nicht Condensatorplatten aus eben so viel verschiedenen Metallen besitzt, was bei der Seltenheit und Schwierigkeit der Bearbeitung mancher Metalle nicht wohl möglich ist. Man hat jedoch ein Auskunftsmittel, mittelst dessen sich mit einem Condensator z. B. aus Kupfer oder einem beliebigen Metall alle Metalle gegen einander prüfen lassen, ohne daß man von der elektromotorischen Wirkung des Kupfers hierbei eine merkliche Wirkung zu fürchten hätte. Dieses Mittel gründet sich auf folgende Erfahrung.

Man befeuchte ein Blättchen Papier mit gewöhnlichem oder destillirtem Wasser oder überhaupt einer Flüssigkeit, welche zwar die Elektr.

Digitized by Google

zu leiten, aber doch keine oder keine in Betracht kommende chemische Veränderung der Metalle, die man damit in Berührung bringen will, hervorzubringen vermag. Man applicire dieses Blättchen an der untern Condensatorplatte und verfahre ganz wie im vorigen Versuche, nur daß man das Kupfer des Condensators nicht unmittelbar, sondern unter Zwischenwirkung des feuchten Blättchens mit Zink berührt. Man wird nach Abheben des Condensatordeckels kein merkliches Zeichen von Elektr. erhalten, zum Zeichen, daß das feuchte Blättchen die elektromotorische Wirkung des Zinks auf das Kupfer unterbrochen, und daß es durch seine Berührung mit beiden Metallen auch selbst zu keiner Erregung wahrnehmbarer Elektr. Anlaß gegeben hat.

Bringt man dagegen von einer Combination aus Kupfer und Zink das eine Metall mit dem Condensator unter Zwischenwirkung des feuchten Blättchens in Berührung, während man das andere in der Hand hält, so wird der Condensator nach Abheben des Deckels positive oder negative Elektr. zu erkennen geben, je nachdem es das Zink oder das Kupfer ist, welches man solchergestalt mittelbar am Condensator entladet, zum Zeichen, daß das feuchte Blättchen die freie Elektr. des Metalls, mit welchem es in Berührung ist, zum Condensator überzuleiten vermag.

Nach diesen Versuchen haben Flüssigkeiten (welche keine chemische Veränderung der Metalle bewirken) die Eigenschaft, in Verbindung mit Metallen als Leiter der Elektricität zu dienen, ohne selbst elektromotorische Wirkung oder Einfluß auf die elektromotorische Wirkung der Metalle zu haben; und man wird sich stets feuchter Zwischenleiter bedienen können, wenn man die Elektr. eines Metalles auf den Condensator in der Art übertragen will, daß dabei die elektromotorische Wirkung des Metalles und Condensators unter einander und die hiervon abhängige Störung des Resultates vermieden werde. Die obige Erfahrung spricht Fechner so aus: Bei Combination von Flüssigkeiten mit Metallen wirken die Flüssigkeiten als Leiter für die Elektricitäten, welche die Metalle durch ihre directe Berührung mit einander annehmen, ohne daß die Berührung der Flüssigkeiten mit den Metallen selbst das elektromotorische Resultat der Art nach ändert. Scheinbare Ausnahmen von diesem Satze erklären sich dadurch, daß manche Flüssigkeiten eine so starke und schnelle Aenderung in der Oberfläche der Metalle, mit denen sie in Berührung kommen, hervorbringen, daß man nicht mehr eine Combination aus unveränderten, sondern aus wirklich veränderten Metallen vor sich hat, deren elektromotorisches Verhältniß öfters gerade das umgekehrte der unveränderten Metalle sein kann.

Als Quellen der Elektricität waren vor Entdeckung der Berührungselektricität Druck und Reibung längst bekannt, man kann daher auf den Zweifel kommen, ob nicht auch in den angeführten Versuchen, wo, wie es scheint, Berührungselektricität vorkommt, diese nicht vielmehr Druck- oder Reibungselektricität sei. Daß aber wirklich die bloße Berührung der Grund der Elektricität sei, wird nicht allein durch das

Digitized by Google

Stattfinden der Elektricitätserregung bewiesen, wenn man auch aufs sorgfältigste allen Druck und alle Reibung vermeidet, sondern noch speciell durch nachfolgende zwei Versuche.

Volta bildet einen Metallstreifen aus zwei Stücken C, Z (Fig. 172.) Zink und Kupfer, die er an einander löthet. Darauf faßt er das Zinkende zwischen den Fingern und berührt mit dem andern, dem Kupferende, die gleichfalls kupferne Platte eines Condensators; hebt man darauf die berührte Platte ab, so findet man sie in Uebereinstimmung mit dem Vorigen negativ elektrisirt, ungeachtet Druck und Reibung zwischen Zink und Kupfer hierbei ganz ausgeschlossen sind.

Nach Pfaff lege man ein Scheibenpaar aus Zink und Kupfer (gleichviel ob die Scheiben lose auf einander liegen oder zur Doppelscheibe auf einander gelöthet sind) auf die obere Platte des Condensators mit der Vorsicht, daß, wenn diese Platte aus Kupfer ist, die Kupferscheibe, wenn sie von Zink ist, die Zinkscheibe mit ihr in Berührung sei. Darauf berühre man die untere auf das Elektroskop aufgeschraubte Platte des Condensators und zugleich das nach Außen liegende Metall des Scheibenpaars mit den Fingern so leise man will und hebe nun alle Berührung wieder auf. Entfernt man alsdann die obere Platte des Condensators, indem man sie bei ihrem isolirenden Handgriffe hält, von der untern, so divergirt das Elektroskop vermöge der Elektr. der Scheibe, welche durch den Finger in leitende Gemeinschaft mit ihr gesetzt war, und prüft man sogleich die obere Condensatorplatte an einem anderen condensirenden Elektroskop, so zeigt dieses die entgegengesetzte Elektr., die nämlich, welche die mit ihr unmittelbar in Berührung gewesene Scheibe angenommen hatte.

So wie Zink und Kupfer verhalten sich bei der Berührung nicht allein alle Metalle, sondern überhaupt alle feste Leiter zu einander, nämlich so, daß der eine negat. der andere posit. elektr. wird. Bei einigen Combinationen sind schwächere, bei anderen stärkere elektromotorische Wirkungen. Zwischen manchen Leitern ist indeß die erregte Elektr. so schwach, daß man sie kaum mittelst des Condensators und Elektroskops wahrzunehmen vermag, z. B. zwischen Antimon, Wismuth, Kupfer unter einander. Man bedient sich zur Bemerkbarmachung so schwacher Grade Elektr. der Froschschenkel (in der oben angegebenen Art nach Galvani) oder des Schweigger'schen Multiplicators.

Nach Fechner sind es nicht bloß die Leiter, welche elektromotorisch auf einander wirken, sondern im Allgemeinen alle feste Körper. Wie er sagt, hat er selbst sich überzeugt, daß, wenn man eine Zink- oder Kupferplatte isolirt mit möglichster Verhütung von Reibung von einer geglätteten Schwefelplatte abhebt, nachdem man sie zuvor, während des Aufliegens, mit dem Finger berührt, um auch die Elektr. zu entziehen, die etwa durch Druck oder Reibung beim Aufsetzen entstanden sein könnte, dieselbe doch eine so starke posit. Elektr. zu erkennen gibt, daß diese an dem Bohnenberger'schen Elektrometer aufs leichteste schon ohne Condensator bemerklich wird, während die Schwefelplatte negat. Elektr. angenommen hat. Eben so werden beide Metalle positiv, obwohl viel minder, gegen Kreide, hingegen negativ gegen

Digitized by Google

Glas und isländischem Spath u. s. w. Schweigger erzählt, daß er hundertmal bei Seebeck gesehen habe, daß, welche Körper auch isolirt mit geglätteten Flächen getrennt werden mochten, immer entgegengesetzte Elektricität vorhanden war, die sogar ohne Condensator darstellbar war.

Was die Art betrifft, wie die Elektricität über die Oberfläche der sich berührenden Metallplatten verbreitet ist, so ist angenommen worden, daß dieselbe gleichförmig verbreitet sei. Nach einer Reihe von Versuchen, welche Fechner angestellt hat, ist dieses jedoch nicht genau richtig. Zwar ist die Elektricität über die übrige Oberfläche gleichmäßig vertheilt, nicht aber so wie auf der Fläche, in welcher das eine Metall das andere berührt, auf dieser Fläche ist vielmehr die Elektr. bei weitem stärker als auf der ganzen übrigen Oberfläche angehäuft. Der Grund ist, daß die beiden Metallflächen bei der Berührung (welches dasselbe wie größtmögliche Annäherung ist) gleich zwei Condensatorplatten auf einander wirken (s. d. Art. Condensator).

Nach Fechner kann man sich die Vertheilung der Elektr. in zwei sich berührenden Flächen gerade so vorstellen, wie in zwei durch eine ganz dünne Schicht getrennten Condensatorplatten. Auch in diesen ist die Elektr. an den zugekehrten Theilen der Oberfläche unverhältnißmäßig stärker als auf den übrigen Theilen, so daß die Intensität der letzteren als ein kleiner Bruchtheil von der Intensität der ersteren angesehen werden kann; die schwächere Elektr. der letzteren aber ist merklich gleichmäßig verbreitet und verbreitet sich auch auf alle Oberflächen, die man etwa noch anfügen will, in gleichförmigem Maße. Zur Bestätigung der eigenthümlichen Elektricitätsverdichtung an der Berührungsfläche führt Fechner folgenden Versuch an.

Man berühre eine Zinkplatte von 1 oder einigen Quadratzollen Durchmesser, die isolirt oder nicht isolirt sein kann, wiederholt in ihrer ganzen Fläche mit einer eben so großen isolirten Kupferplatte, und trage deren Elektr. jedesmal an den Condensator über, kurz stelle den Versuch ganz so wie den S. 475 oder S. 479 angegebenen Versuch an. Man wird den dort beschriebenen Erfolg erhalten, d. h. nach einigemal wiederholter Uebertragung wird das Elektroskop eine starke negative Elektr. zu erkennen geben. Zum Beweise jedoch, daß diese Elektr. ganz auf Rechnung derjenigen Elektr. kommt, welche während der Berührung an den Berührungsoberflächen gebunden war, bei Trennung der Platten aber frei wird und sich dann über die ganze Oberfläche der Platten und von da in den Condensator ergießt, wiederhole man nun den Versuch auf folgende Weise. Anstatt die Zinkplatte direkt mit der Kupferplatte zu berühren, lege man auf die Zinkplatte eine andre Kupferplatte, mit ihr von gleichen Dimensionen, und berühre nun diese in ihrer ganzen Fläche wiederholt mit der übertragenden Kupferplatte. Wie oft man solchergestalt die Uebertragung wiederholen mag, man wird kein unzweideutiges Zeichen von Elektr. am Condensator bemerklich machen können. (Dabei wird immer bei diesen Versuchen vorausgesetzt, daß das zu berührende System vor jeder neuen Berührung ableitend berührt werde, wenn es nicht ohnehin schon mit dem Erdboden in Verbindung steht.) Hier bleibt fast die ganze Elektr., welche bei der er-

Digitized by Google

sten Art, den Versuch anzustellen, den Effect hervorbrachte, an der Berührungsfläche der Kupferplatte, welche direct auf dem Zink liegt, gebunden, und die zweite Kupferplatte, welche diese berührt, kann mit ihr bloß die Elektr. von verhältnißmäßig schwacher Intensität theilen, die sich über die ganze Oberfläche gleichförmig fortpflanzt, und die unter diesen Umständen nicht hinreichend ist, einen bemerklichen Ausschlag am Condensator hervorzubringen, jedoch unter andern Umständen sehr bemerklich werden kann. Der Grund nämlich, warum bei der vorigen Art den Versuch anzustellen diese Elektr. keinen bemerklichen Erfolg am Condensator hervorbringt, liegt (nach Fechner) darin, daß der Condensator sich nur der kleinen Quantität Elektr. bemächtigen kann, welche der übertragenden kleinen Kupferplatte jedesmal von der auf dem Zink aufliegenden Kupferplatte mitgetheilt wird. Stellt man dagegen den Versuch so an, daß das auf dem Zink aufliegende Kupfer mit dem kupfernen Condensator direct in Verbindung gesetzt wird, während zugleich das Zink mit dem Erdboden in Verbindung steht, so wird sich jetzt der Condensator mit der Electr., welche sich gleichförmig über die Oberfläche des Kupfers verbreitet und die sich in dem Maße, als sie entzogen wird, augenblicklich wieder aufs Neue erzeugt, in einem Augenblick vollständig sättigen können, und in der That sieht man in diesem Falle das Elektroskop grade so starke negative Elektr. anzeigen, als wenn man das nicht isolirte Zink direct mit dem kupfernen Condensator in Berührung gebracht, d. h. den S. 479 angeführten Versuch angestellt hätte. Die Intensität, welche der Condensator auf eine dieser Arten erlangen kann, ist jedoch beträchtlich schwächer als diejenige, die er annimmt, wenn man die Elektr. von getrennten Platten sehr oft wiederholt an ihn überträgt, wie man durch Versuche mit etwas großen und glatten Platten leicht finden kann.

Die Gesammtquantität derjenigen Elektr., welche an der Berührungsoberfläche beider Platten gebunden ist, muß für jede Platte nothwendig mit der Zahl der Berührungspunkte oder sehr nahen Punkte, die sie mit der anderen gemein hat, zunehmen; dagegen die Quantität der gleichförmig verbreiteten Elektr. hiervon unabhängig ist, und bloß von der Größe der Oberflächen, auf denen sie verbreitet ist, abhängt. Dieß ist wiederum ganz analog demjenigen, welches man bei zwei Condensatorplatten finden würde. Fechner weist dieß folgendermaßen nach.

Bei den S. 475 f. und 479 angeführten Versuchen, wo man die Elektr. getrennter Platten auf den Condensator überträgt, kommt alles auf Größe und Glätte der Flächen an, mit welchen man die Platten einander jedesmal berühren läßt. In der That, wenn man eine (isolirte oder nicht isolirte) Zinkplatte auch sehr oft wiederholt nur mit der Ecke einer (isolirten) Kupferplatte berührt, und diese jedesmal an dem Condensator entladet, wird der Condensator doch keine merkliche Spur von Elektr. annehmen, weil wegen der kleinen Berührungsgröße jedesmal nur eine sehr kleine Quantität Elektr. von starker Intensität entstehen kann, und die Quantität der gleichförmig verbreiteten Elektr. bei nicht zu großen Platten wegen ihrer geringen Intensität ebenfalls zu klein ist, um einen Ausschlag zu bewirken. In dem Maße aber,

Digitized by Google

als man die Berührungsflächen der Platten vergrößert, wird auch der Ausschlag des Elektroskops deutlicher, und bei einer geringern Anzahl von Uebertragungen, selbst schon bis nach einer einzigen bemerklich. Eben so kann man sich überzeugen, daß der Ausschlag mit der Glätte der Platten zunimmt. Dagegen ist bei den Versuchen, wo der Ausschlag des Condensators von der sich gleichförmig verbreitenden Elektr. abhängt, ganz gleichgültig für den Erfolg, ob man die Berührung mit einer großen oder kleinen, glatten oder rauhen Fläche veranstaltet; der Erfolg bleibt derselbe, da hier die Condensatorfläche und die Ableitung nach dem Erdboden, über welche sich die Elektricität zu verbreiten hat, dieselben bleiben.

Schon Volta hat bemerkt, daß die verstärkte Intensität der Elektr. an den Berührungsoberflächen zweier Metallplatten auf den Principien der Condensation beruhe, wie der von ihm angegebene Bericht über eine Reihe von ihm in dieser Beziehung angestellter Versuche beweist.

„Ich nehme eine recht glatte und ebene Silberplatte, in der sich drei kleine Löcher befinden, die ganz durch dieselbe hindurchgehen und durch ihren gleich großen Abstand von einander ein gleichseitiges Dreieck bilden. In diese Löcher bringe ich von unten auf drei kleine Schräubchen, die gleichfalls von Silber sind, dergestalt, daß ihre Spitzen kaum $\frac{1}{10}$ Linie, oder nach Gefallen mehr oder weniger, über die vollkommen glatte und ebene obere Fläche der Platte hervorstehen. Auf diese silberne Platte nun bringe ich eine gleichfalls recht glatte und ebene andere von Zink. Man bemerkt sogleich, daß beide Platten in nicht mehr als drei Punkten, in denen nämlich, die durch die Spitzen der drei in der untern, der Silberplatte, befindlichen Schräubchen, gebildet werden, mit einander in Berührung stehen. Beide ebene Oberflächen derselben aber sind einander sehr nahe und können sich folglich gegenseitig die Dienste eines Condensators leisten; wirklich aber ist auch die Quantität von elektrischem Fluidum, die sich in der Zinkplatte auf Kosten der Silberplatte anhäuft, und die dadurch in beiden entstandene Elektr., die bei ersterer positiv und bei letzterer negativ ist, groß genug, um durch eine mäßige Anzahl von Umdrehungen des Duplicators bemerkbar zu werden. Ich vermindere jetzt das Hervorstehen der Schraubenspitzen über die Silberplatte dergestalt, daß zwischen den Flächen beider Platten ein so kleiner Zwischenraum übrig bleibt, daß er das feinste Papier und selbst das Licht kaum hindurchläßt. Nun aber sind auch die Elektricitäten, welche beide Metallplatten unter diesen Umständen erhalten, der größern Nähe ihrer Oberflächen gemäß, beträchtlicher als im vorigen Versuch, und stehen denen nicht sonderlich nach, welche jene erhalten, wenn man die Schräubchen völlig zurückgezogen hat und beide Flächen einander durchaus berühren. Hierauf bringe ich die eine Platte mit der anderen in einen Winkel, oder nur mit den äußersten Rändern, oder zwar horizontal, aber nur an einem kleinen Theil des Randes, in Berührung. Auf diese Art ist die Anzahl der Berührungspunkte ganz gewiß größer, als in den beiden vorigen Versuchen, in denen sich beide Platten nur in drei Punkten berührten; dieser zahlreicheren Berührungspunkte ungeachtet aber ist die Elektricität, welche ich

Digitized by Google

jetzt erhalte, da hier nicht die große und ausgedehnte Näherung der ebenen Flächen beider Platten statt hat, die zur Condensation der Elektricität erforderlich ist, bei weitem schwächer als in den vorigen Versuchen, so daß ich weit mehr Umdrehungen des Duplicators anwenden muß, um sie bemerklich zu machen. Wenige Punkte wirklicher Berührung äußern also, wenn sie mit einer Menge anderer in Verbindung stehen, die sich einander sehr nahe befinden, eine stärkere Wirkung als jeder größere Contact, wo aber die einander gegenüber befindlichen Oberflächen um vieles kleiner, oder einander nicht in dem Grade genähert sind.“

Bei jeder mit einer andern in Berührung stehenden Platte ist also zu unterscheiden: 1) die an der Berührungsfläche condensirte Elektr. und 2) die über die ganze übrige Oberfläche gleichmäßig vertheilte Elektricität, welche letztere bei weitem schwächer als die erste ist. Die erstere kommt indeß bei den meisten Versuchen, bei allen denen, wo eine bleibende Berührung der Platten stattfindet, gar nicht zur Erscheinung, weil sie nur durch Trennung der Berührungsoberflächen bemerklich wird, wogegen die zweite ohne Trennung der Platten des Elektromotors über alle diejenigen leitenden Oberflächen mit sich verbreitet, welche man an die Platten des Elektromotors anfügt. Bei dieser zweiten befolgt die Intensität der Elektr. das Gesetz: Die Intensität auf der einen Platte verhält sich zur Intensität auf der anderen Platte, die mit ihr in Berührung ist, umgekehrt, wie die respectiven Ableitungsgrößen dieser Platten. Hat also z. B. die eine Platte eine doppelt so große Ableitung als die andere, so ist die Intensität auf der ersten Platte halb so groß als die auf der andern. Fechner gibt nachstehenden Beweis dieses Satzes.

Da das Elektrischwerden zweier Glieder eines Elektromotors bloß auf Zersetzung ihrer natürlichen Elektricitäten beruht, so leuchtet ein, daß auf dem einen derselben eine gewisse Quantität Elektr. nicht anders frei werden kann, als daß auf dem andern zugleich eine eben so große Quantität entgegengesetzter Elektr. frei wird, wie dieß auch bei Erregung der Elektr. durch Reiben stattfindet. Man kann dieses selbst durch einen Versuch nachweisen, indem man die Elektr. einer Zink- und Kupferplatte nach jedesmaliger Trennung zugleich mittelst eines feuchten Blättchens an den Condensator überträgt, wo sie sich wechselseitig neutralisiren und den Condensator ungeladen zurücklassen werden. Eine Folgerung hieraus ist, daß, wenn zwei Metalle von ungleichen Ableitungsflächen sich isolirt berühren, die Dicke der elektrischen Schicht, oder, was dasselbe ist, die elektrische Intensität auf dem Metalle von größerer Ableitung kleiner als auf dem Metalle kleinerer Ableitung sein wird; in so fern sich dasselbe Quantum Elektr. über mehr Punkte zu verbreiten hat und zwar, daß sich die Intensitäten auf dem einen und dem anderen Gliede des Elektromotors genau umgekehrt wie die Ableitungsgrößen dieser Glieder verhalten werden. In der That hat die allgemeine Erfahrung dieses für die beiden Grenzen der möglichen Fälle, wo eine leichte Bewährung möglich ist, bestätigt, den nämlich, wo die

Digitized by Google

Ableitungsgrößen beider Metalle gleich sind, und den, wo die eine unendlich größer als die andere ist.

Man findet daher, wenn von den zwei Gliedern eines Elektromotors das eine isolirt, wenn auch mit einer großen aber isolirten Ableitungsfläche in Verbindung ist, das andere aber nicht isolirt, stets das letztere, am Condensator geprüft, null elektrisch, weil seine Ableitung nach dem Erdboden für unendlich anzusehen ist gegen die Ableitung, mit der das andere Metall versehen ist. Setzt man dagegen beide Metalle auf dieselbe Weise mit dem Erdboden in Verbindung, so zeigt jedes derselben, am Condensator geprüft, dieselbe Stärke der Elektr.; keines ist null, weil, obwohl die Ableitung hier für beide unendlich ist, sie doch zugleich sich für beide gleich verhält. Anders verhält sich die Sache, wenn man beide Metalle auf ungleiche Weise mit dem Erdboden in Verbindung setzt, das eine nämlich durch einen bessern, das andere durch einen schlechtern feuchten Leiter, oder so, daß man der einen Platte mehr Berührungspunkte als der andern mit der feuchten Ableitung nach der Erde gibt. Prüft man in diesem Falle successiv beide Metalle am Condensator, so zeigt sich das Metall, welches mit der bessern Ableitung nach dem Boden versehen ist, stets schwächer elektrisch als das andre, und diese Differenz kann man leicht so weit treiben, daß das eine gar keine Elektr. mehr darzubieten scheint, wiewohl es solche sofort wieder in gleichem Grade mit dem andern zu erkennen gibt, wenn man entweder seine Ableitung nach dem Boden so weit verschlechtert, oder die des andern so weit verbessert, daß sie sich in dieser Hinsicht gleich verhalten.

Die absolute Größe der Intensitäten, deren Verhältniß man nach dem angegebenen Gesetze aus dem Verhältniß der Ableitungsgrößen findet, befolgt ein Gesetz, über welches alle Beobachter übereinstimmen, wenn auch, wie Fechner bemerkt, dasselbe noch durch keine directen Versuche streng erwiesen ist. Obschon nämlich das Verhältniß der Intensitäten auf der einen und der anderen Platte sehr verschieden sein kann, nach Beschaffenheit von deren Ableitungsgrößen, so bleibt sich doch die Summe dieser Intensitäten bei allen Veränderungen dieses Verhältnisses stets gleich, und hängt ihrer Größe nach ab von der elektromotorischen Kraft, welche in der Berührung beider Metalle erregt wird, so daß sie als ihr Maß dienen kann. Wenn man daher der einen von zwei sich berührenden Platten eine gegen die der anderen Platte unendlich große Ableitung gibt und dadurch ihre Elektr. auf 0 herabbringt, so wird auf der andern Platte die Intensität der Elektr. noch einmal so groß sein, als sie dann sein würde, wenn die Ableitungsgrößen sich gleich wären.

Es ist oben bereits bemerkt worden, daß die festen Leiter bei der Berührung je zweier derselben nach ihrer besondern Eigenthümlichkeit Elektricität in sehr verschiedenen Graden erregen, wobei stets der eine Körper positiv, der andere negativ elektrisch wird. Man kann nun in dieser Beziehung die festen Leiter in eine Reihe zusammenstel-

Digitized by Google

len, *) so daß jeder vorstehende mit allen nachstehenden in Berührung gebracht positiv elektrisch wird, und daß jede zwei Körper der Reihe mit einander um so mehr Elektr. erregen, je weiter sie in der Reihe von einander abstehen.

Durch Prüfung einiger Metalle am Condensator hat Volta folgende galvanische Spannungsreihe gefunden.

\+ Zink; Blei; Zinn; Eisen; Kupfer; Silber; —

Hiernach wird bei jeder Combination von Zink mit Blei, Zinn u. s. w. Zink jedesmal positiv elektrisch, das andre Metall also negativ elektrisch, und am meisten Elektr. wird entwickelt durch eine Combination von Zink und Silber. Es sind noch mehre Reihen genauer Versuche über die Reihenfolge der festen Leiter in der galvanischen Spannungsreihe auf verschiedene Weise angestellt worden. Aus der prüfenden Vergleichung der Resultate aller dieser Versuche stellt Fechner folgende Reihe zusammen, bei welcher diejenigen Metalle weggelassen sind, über deren Stelle noch zu viel Ungewißheit herrscht. **)

Kalium
Baryum
Zink
Cadmium
Blei
Zinn
Eisen
Nickel
Kupfer (Wismuth, Antimon)
Arsenik
Queckſilber
Silber
Gold
Platin
Iridium
Rhodium

Die Erscheinungen, welche stattfinden, wenn drei oder mehre Metallplatten mit einander in Verbindung gebracht werden, so daß immer je zwei mit einander in Berührung stehen, lassen sich auf diejenigen zurückführen und aus denjenigen erklären, welche bei der Combination nur zweier Platten auftreten.

Gesetzt es liegen drei Metallplatten, zwei (K und K) von Kupfer und eine (Z) von Zink so auf einander, daß (K Z K) die Zinkplatte zwischen den beiden Kupferplatten liegt. Die unterste Kupferplatte stehe mit dem Erdboden in Verbindung, mit ihr bleibe die (isolirte) Zinkplatte in steter Berührung und die oberste Kupferplatte werde wiederholt an einem gläsernen Handgriff abgehoben, um sie an dem condensirenden Elektroskope zu entladen.

---

*) In einer ähnlichen Reihe stellt man auch die Körper in Beziehung auf Reibungselektr. zusammen; s. d. Art. Elektricität.

**) S. d. Nähere im Art. Spannungsreihe, galvanische.

Digitized by Google

Gemäß dem oben Gesagten wird durch das Aufeinanderliegen des untersten K mit dem Z in Z positive Elektr. erregt, von der ein Theil mit größerer Intensität an der Berührungsoberfläche gebunden ist, ein anderer Theil positiver Elektr. sich über die übrige Oberfläche des Z und alle mit ihm in Verbindung stehende Leiter, also hier über das obere K gleichmäßig verbreitet. Durch das obere auf Z liegende K wird ebenfalls ein Theil Elektr. von größerer Intensität auf der Berührungsoberfläche gebunden, während ein anderer Theil negativer Elektricität gleichmäßig sich über das obere K ausbreitet. Ueber das obere K verbreitet sich demnach pos. und neg. Elektr. in gleicher Stärke, welche sich natürlich neutralisiren, an der Berührungsoberfläche von K aber ist negat. Elektr. gebunden, welche erst bei Trennung der Platte K zum Vorschein kommt. Hebt man daher das K von Z ab, so wird seine vorher an der Berührungsoberfläche gebundene negat. Elektr. frei und dem Condensator mitgetheilt werden können, so kommt es, daß das obere K auf diese Weise eine fast eben so starke Elektr. am Condensator zu erkennen gibt, als wenn das untere K gar nicht gegenwärtig wäre. Auch wird das Resultat des Versuchs nicht geändert, wenn das untere K isolirt ist, nur muß man vor jedem neuen Aufsetzen des oberen K die Combination des Z und unteren K leitend berühren. Ferner können an die Stelle des unteren K andere Metalle, auch mehre Metallplatten in beliebiger Folge und Zahl unter Z gelegt werden, das obere K theilt dem Condensator stets merklich eben so viel neg. Elektr. mit, als wie wenn es allein mit dem Zink ohne seine metallische Unterlage in Berührung käme. Fechner hat im Allgemeinen durch Versuche nachgewiesen, daß in allen Fällen, wo sich noch deutliche Anzeichen durch den Condensator erhalten lassen, die Elektr., die durch Trennung sich berührender isolirter Metallplatten zum Vorschein kommt, stets der Beschaffenheit der direct getrennten Glieder entspricht, unabhängig dagegen ist von der Beschaffenheit der mit den getrennten Gliedern in Verbindung gesetzten Metalle. Auch findet in allen diesen Fällen dieselbe Abhängigkeit des Effects von der Berührungsgröße statt, als da, wo zwei Platten sich berühren.

Läßt man nun hingegen bei der oben angegebenen Combination von KZK das obere K auf dem Z ruhen, ohne es abzuheben, und setzt es so mit dem Condensator in Verbindung, so theilt es demselben (das untere K mag isolirt sein oder nicht, und man mag den Versuch auch noch so oft wiederholen) keine Elektr. mit, zum Beweise wie in der That die sich über das Kupfer ausbreitenden entgegengesetzten Elektr. sich neutralisirt haben, die an der Berührungsfläche hier wo keine Trennung des K von Z stattfindet ohne Einfluß bleibt.

Welches nun auch die drei Metallplatten A B C sein mögen, welche über einander liegen, so wird sich immer diejenige Elektr., welche B vermöge seiner Berührung mit A annimmt, sich auch über C ausbreiten und die freie Elektr., welche C vermöge seiner Berührung mit B annimmt, vermehren oder vermindern, je nachdem die hiernach über B sich ausbreitenden Elektricitäten dieselben oder entgegengesetzt sind. Sind A und C gleichartige Metalle, so wird stets, wenn A mit dem Erd-

Digitized by Google

boden in Verbindung ſteht und C nicht von B getrennt wird, C am Condenſator geprüft keine Spur von Elektr. zeigen. Dieſer Fall gehört, da gleichartige Metallplatten in der Berührung keine Elektr. erregen, unter das noch allgemeinere, durch die Verſuche bewieſene Geſetz, daß, wie auch das zwiſchen A und C gelegte Metall B beſchaffen ſein mag, dennoch das am Condenſator geprüfte Glied A gerade in der Art und in der Stärke elektriſch ſich zeigt, als wenn es ohne Zwiſchenlage von B mit C direct zuſammenhinge. Statt B können ſelbſt mehre gleichartige oder ungleichartige Metallplatten angebracht werden, das Geſetz bleibt daſſelbe, A zeigt ſich grade eben ſo elektriſch, als wenn es unmittelbar mit C in Berührung ſtände.

Man ſagt, ein Metall ſtehe in der galvaniſchen Spannungsreihe doppelt, dreifach u. ſ. w. ſo weit von einem zweiten Metalle als ein drittes ab, wenn die Intenſität der Elektr., welche das erſte Metall in Berührung mit dem zweiten erregt, doppelt, dreifach u. ſ. w. ſo groß iſt, als die Elektr., welche ein drittes Metall mit demſelben zweiten erregt. Volta hat für die von ihm angegebene Spannungsreihe die relativen Abſtände je zweier auf einander folgender Metalle mit Hülfe ſeines Strohhalmselektrometers (freilich nicht eben genau richtig) wie folgt angegeben:

Zink
} 5
Blei
} 1
Zinn
} 3
Eiſen
} 2
Kupfer
} 1
Silber

und nachſtehendes Geſetz der galvaniſchen Spannungsreihe aufgeſtellt: Wenn wir den relativen Abſtand der Metalle in der galvaniſchen Spannungsreihe von einander durch Zahlen ausdrücken, ſo iſt der Abſtand je zweier entfernten Glieder darin allemal genau gleich der Summe der Abſtände aller Zwiſchenglieder. Der Abſtand zwiſchen Zink und Silber iſt folglich $= 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12$; der Abſtand zwiſchen Zink und Zinn $= 5 + 1 = 6$ u. ſ. w.

Dieſes Geſetz iſt eine unmittelbare Folgerung aus dem andern oben angegebenen Geſetze, daß ein Metall allemal dieſelbe Elektr. der Art und der Stärke nach mit einem andern Metalle durch den Condenſator anzeigt, es mögen beide Metalle in unmittelbarer Berührung ſtehen, oder es mögen noch eine oder mehre andere Metallplatten zwiſchen ihnen liegen. Geſetzt z. B. wir haben drei auf einander liegende Platten, Zk, B, Zn, wo Zk Zink, B Blei, Zn Zinn bedeutet, ſo verbreitet ſich über Zk + 1 (poſit.) Elektr. wegen der Berührung von B und Zn, ferner + 5 Elektr. wegen der Verbindung von Zk und B, alſo im Ganzen iſt die über Zk frei vertheilte Elektricität, der Abſtand zwiſchen Zink und Zinn 1 + 5 = 6. Eben ſo haben wir als Abſtand

Digitized by Google

z. B. des Silbers vom Eisen = 3, und zwar wird bei der Berührung an einander Silber negativ, Eisen positiv elektrisch. Nehmen wir nun z. B. an, es folgten sich: Silber, Kupfer, Zink, Eisen, so verbreitet sich

wegen der Berührung	von	Eisen und Zink	über das	Silber	+	9
"	"	"	"	Zink und Kupfer	"	"	"	— 11
"	"	"	"	Kupfer und Silber	"	"	"	— 1
						Summa	—	3

d. h. also nach Neutralisirung gleicher Quantitäten posit. und negat. Elektr. würde das Silber — 3 Elektr. haben; oder 3 ist der Abstand zwischen Silber und Eisen.

Bei den Combinationen von mehren Metallen treten Erscheinungen auf, welche sich aus den bereits angegebenen Gesetzen ableiten lassen. Fechner, der auch in dieser Beziehung Beobachtungen gemacht hat, führt folgendes an.

Gesetzt wir hätten eine Reihe aus beliebigen Metallen,

A
B
C
.
.
.
Z

von denen jedenfalls A am Condensator geprüft werde, während man eins oder mehre der andern Glieder mit sehr großen Ableitungen, z. B. nach dem Erdboden, versieht. Wird nun statt des Endgliedes Z irgend ein anderes Glied der Reihe, z. B. C mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, so wird jetzt A denjenigen elektrischen Zustand am Condensator zeigen, der ihm vermöge seiner directen Berührung mit C zukommen würde, und alle andern zwischen und außerhalb befindlichen Glieder der Reihe werden für A so gut wie nicht vorhanden sein. — Werden ferner aus jener Reihe zwei beliebige Metalle zugleich und auf dieselbe Weise mit dem Boden in Verbindung gesetzt, so wird, wenn A vermöge der directen und alleinigen Berührung mit dem einen positiv, mit dem andern aber negativ geworden sein würde, der elektr. Zustand von A die Differenz beider Zustände sein. Werden aber zwei Metalle aus der Reihe auf ungleiche Weise mit dem Boden in Verbindung gesetzt, so wird A jederzeit diejenige Art Elektr. anzunehmen streben, welche ihm vermöge seiner directen Berührung mit dem Metall zukommen würde, welches die bessere Ableitung nach dem Boden hat, wofern nicht der stärkere elektromotorische Gegensatz, in dem es etwa mit dem Metalle von der schlechtern Ableitung steht, diesen Umstand ausgleicht.

Allgemein ergibt sich, daß, wie man auch die Folge der Glieder B, C...Z unter einander verwechseln mag, doch der elektrische Zustand von A ganz ungeändert bleibt, wofern nur jedes Metall an alle seine neuen Stellen immer dieselben Ableitungsgrößen mit hinüber nimmt, die ihm einmal gegeben worden sind.

Digitized by Google

Nach dem Vorhergehenden erhält man keine Verstärkung der Elektr., wenn man eine Reihe von Metallplatten, z. B. abwechselnd Zink- und Kupferplatten, so auf einander schichtet, daß immer unmittelbar Zink und Kupfer einander berühren; bei einer solchen Säule (Robison'sche Säule) sind die Endplatten ganz in derselben Stärke elektrisch, als wenn dieselben in directer Berührung mit einander ständen. Dagegen kann man eine Verstärkung der Elektr. erlangen, wenn man auf geeignete Weise Metallplatten und feuchte Leiter mit einander in Verbindung setzt, wie zuerst Volta im J. 1799 entdeckte, indem er die nach ihm genannte Volta'sche Säule construirte.

Robison hatte schon vorher eine Menge kleine Zink- und Kupferplatten (Schillinge) in Form einer Geldrolle abwechselnd auf einander geschichtet und gefunden, daß in gewissen Fällen eine solche Rolle den (galvanischen) Reiz beträchtlich vermehre. „Bringt man die eine Seite, sagt er, eines solchen Röllchens auf die Zunge, so daß diese alle einzelnen Stücke davon berührt, so ist der Reiz sehr stark und unangenehm.“ Bei diesem letzten Versuche war unstreitig schon die Feuchtigkeit des Mundes von Einfluß. Volta hat nirgends gesagt, wie er eigentlich zur Erfindung seiner Säule gekommen ist, und in seiner ersten Abhandlung über dieselbe gibt er nur genaue Anweisungen zur Construction der Säule und einer Abänderung derselben, des Tassenapparates. Die auffallendsten Erscheinungen an der Volta'schen Säule wurden erst später entdeckt. Im J. 1801 ging Volta nach Paris, um dem franz. Nationalinstitute einen vollständigen Bericht über seine Entdeckungen mitzutheilen. Bounaparte, damals erster Consul und Mitglied des Nationalinstitutes, ließ eine Medaille zum Andenken der Erfindung Volta's prägen, stiftete zur weiteren Beförderung derselben zwei Preise, einen größeren für eine Hauptentdeckung und einen kleineren, jährlich auszutheilenden, ließ auch einen sehr wirksamen galvanischen Apparat für aufzustellende Versuche herstellen.

Man lege auf ein einfaches Plattenpaar, Kupfer und Zink, eine Scheibe von Pappe oder Tuch, welche mit irgend einer leitenden Flüssigkeit befeuchtet ist, und auf diese wiederum in derselben Ordnung ein zweites Plattenpaar, so daß, wenn c_1 die erste, c_2 die zweite Kupferscheibe, Z_1 die erste, Z_2 die zweite Zinkscheibe und l_1 die feuchte Tuch- oder Pappscheibe bezeichnet, der Reihe nach auf einander liegen: $c_1\ Z_1\ l_1\ c_2\ Z_2$.

Es nimmt bei dieser Anordnung Z, in Folge seiner Berührung mit c, eine bestimmte positive elektrische Intensität an, die $= 1$ gesetzt werden kann. Die an der Berührungsfläche condensirte Elektr. tritt, so lange keine Trennung der Platten erfolgt, gar nicht in die Erscheinung. Jene Elektr. $= 1$ verbreitet sich gleichmäßig über den feuchten Leiter und über das zweite Plattenpaar $c_2\ Z_2$, während die negat. Elektr. des Kupfers wegen dessen Verbindung mit dem Erdboden abgeleitet wird, c_1 also 0 elektrisch ist. Das Z_2 des zweiten Plattenpaares wird auch vermöge seiner Berührung mit c_2 posit. elektrisch und zwar in demselben Grade wie Z_1 durch die Berührung mit c_1; diese posit. Elektr. von Z_2 ist daher auch $= 1$, die negat. Elektr. von c_2 ist

Digitized by Google

wieder wegen der Ableitung nach dem Boden = 0. In Z_2 kommen folglich beide posit. Elektr., die von Z_1 wegen der Ueberleitung und die eigenthümliche aus der Berührung mit c_2 zusammen, so daß man folgenden Zustand der ganzen Combination erhält:

Oberes Plattenpaar $\begin{cases} Z_2 = +2 \\ c_2 = +1 \end{cases}$

Unteres Plattenpaar $\begin{cases} Z_1 = +1 \\ c_1 = +0 \end{cases}$

Ganz eine entsprechende Betrachtung läßt sich nun auch für drei Plattenpaare mit feuchten Zwischenlagen von Pappe oder Tuch anstellen und man wird folgenden Zustand der ganzen Combination erhalten:

Oberes Plattenpaar $\begin{cases} Z_3 = +3 \\ c_3 = +2 \end{cases}$

Mittleres Plattenpaar $\begin{cases} Z_2 = +2 \\ c_2 = +1 \end{cases}$

Unteres Plattenpaar $\begin{cases} Z_1 = +1 \\ c_1 = +0 \end{cases}$

Bei 4 Plattenpaaren würde der elektrische Zustand der obersten Zinkplatte $Z_4 = +4$ sein u. s. w.; im Allgemeinen: Bei einer Reihe von Plattenpaaren, die durch Zwischenlagen von feuchten Leitern mit einander in Verbindung stehen, nehmen die Quantitäten freier positiver Elektr. von unten nach oben in einer arithmetischen Reihe zu. Je mehr Plattenpaare man über einander schichtet, desto stärkere Elektr. erhält man. Wird die ganze Säule nicht in der angegebenen Ordnung: Kupfer, Zink, feuchter Leiter, Kupfer u. s. w. geschichtet, sondern in entgegengesetzter Ordnung, so muß sie nach einer der angeführten ähnlichen Betrachtung mit abnehmender Stärke von Oben nach Unten negativ elektrisch sein.

Die Endplatten (erste und letzte Platte) einer Volta'schen Säule, oder die Enden der an die Endplatten gefügten Drähte u. s. w. werden die Pole der Säule genannt.

Die oben angestellten theoretischen Betrachtungen, bei denen von den Fundamentalversuchen ausgegangen wird, werden von der Erfahrung im Allgemeinen bestätigt, indem man bei jeder Volta'schen Säule findet, daß der mit dem Erdboden in Verbindung stehende Pol unelektrisch ist, und daß die der Art nach gleichbleibende Elektr. (posit. oder negat.) von diesem bis zum entgegengesetzten Pole hin gleichförmig zunimmt. Ob aber wirklich bei dieser Zunahme die Elektr. eine arithmetische Reihe befolgt, ist noch nicht durch Versuche nachgewiesen worden.

Um die hinsichtlich der Intensität der Säule in Betracht kommenden Umstände auf dem Wege der Erfahrung genau zu bewähren, kann man sich nach Fechner genau genommen keines andern Instrumentes bedienen, als eines Condensators, der an einer elektrischen Drehwage entladen wird. Die Art, wie man den Condensator mit der Säule in Verbindung zu setzen hat, erfordert besondere Vorsichtsmaßregeln, wenn die Resultate vergleichbar ausfallen sollen. Biot macht

Digitized by Google

in dieser Beziehung folgende Bemerkungen. Damit die Wirkung des Condensators regelmäßig, gleichförmig und möglichst kräftig sei, muß man die größte Sorgfalt tragen, zwischen seinen Platten und den Polen der Säule eine vollkommene Verbindung zu bewerkstelligen; denn da die Quantitäten freier Elektr. verhältnißmäßig sehr gering sind, so reicht das geringste Hinderniß hin, ihre Fortpflanzung zu hemmen oder beträchtlich zu verlangsamen, wo dann der Condensator sich weit weniger Elektr. aneignet, als der Fall sein würde, wenn eine vollkommen leitende Verbindung stattfände. Noch schlimmer, wenn die Art der Verbindung selbst veränderlich ist, wie wenn man den Condensator in der Hand hält und sich begnügt, den Gipfel der Säule mit dem Knopfe seines Collectors zu berühren. Thut man dieß mehrmals hinter einander bei der nämlichen Säule, so können die Quantitäten Elektricität, mit denen sich der Collector ladet, binnen eines Augenblicks zwischen dem Einfachen, Dreifachen, ja selbst Vierfachen wechseln, anstatt daß sich hierin eine vollkommene Gleichheit zeigen wird, wenn man die Verbindung auf eine gleichförmige Weise bewerkstelligt.

Nach vielen Versuchen fand Biot folgende Einrichtung des Apparats am zweckmäßigsten. Auf einen festen Tisch befestigt er mit Schrauben ein hölzernes Parallelepipedum AB (Fig. 173.), das mit Stanniol belegt ist. Das Ende A dieses Parallelepipedums trägt einen oben abgekürzten und gut polirten Metallkegel, auf welchem die Säule ruht; durch das andere B geht ein verticaler zum Auf- und Niederschrauben eingerichteter Metallstab TT hindurch, der sich in eine Metallplatte endigt, auf welcher man durch eine Metallschraube den Fuß des Condensators unbeweglich befestigt. So kann man dieß Instrument bis zur Höhe der Säule, mit der man den Versuch anstellt, bringen, ohne der Genauigkeit der Verbindungen Eintrag zu thun.

Um nun die Verbindung des Condensators mit dem Gipfel der Säule auf eine sich stets gleichbleibende Weise zu bewerkstelligen, setzt man auf letztere ein kleines mit Queckſilber gefülltes eisernes Gefäß, das unten recht wohl gereinigt ist, und befestigt an den Condensatordeckel einen elastischen biegsamen Draht, der mit einem eisernen Knopfe versehen ist. Hat man dann das Instrument bis zur Höhe der Säule gebracht, so braucht man nur den Knopf mittelst einer gefirnißten Glasröhre in das Queckſilber herabzudrücken und dann den Draht durch seine eigene Elasticität zurückspringen zu lassen; man wird auf diese Weise sicher sein können, eine so gleichförmige und augenblickliche Berührung zu erhalten, als sich nur wünschen läßt. Man kann sie alsdann, wenn man will, noch weiter verlängern, um zu sehen, ob die Zeit auf die Ladung des Condensators Einfluß hat. Wenn der Draht aus dem Queckſilber heraus ist, hebt man den Collector recht parallel mit sich selbst ab und berührt ihn mit der unbeweglichen und isolirten Kugel der elektrischen Wage. Man bringt diese Kugel in ihren Glaskasten zurück; die bewegliche in natürlichem Zustand befindliche Scheibe kommt mit ihr in Berührung und wird sogleich auf eine gewisse Entfernung abgestoßen, welche man beobachtet, oder man kann auch den Aufhängungsfaden drehen, bis die Scheibe auf einen festen Abstand von der Kugel

Digitized by Google

zurückgebracht ist. Bei dem einen wie bei dem andern Verfahren wird, da sich die Scheibe durch Berührung und auf Kosten der Kugel elektrisirt, der Drehungswinkel das Quadrat der Quantität Elektr. messen, welche der Kugel vom Condensator und diesem von der Säule mitgetheilt worden ist. Biot hat sich überzeugt, daß man mittelst dieses Verfahrens aus einer Reihe hinter einander angestellter Versuche vollkommen vergleichbare Resultate erhält, was keineswegs der Fall ist, wenn man sich der Vorsichtsmaßregeln überhebt, welche die Vollkommenheit und Gleichmäßigkeit der Berührung mit dem Condensator zu sichern dienen. (Vergl. Drehwage und Elektrometer.)

Durch Versuche, welche auf diese Weise angestellt wurden, fand Biot, daß die elektrische Spannung Voltascher Säulen unabhängig von der Größe ihrer Plattenpaare ist, so daß, wenn nur die Zahl der Platten und die Beschaffenheit des feuchten Zwischenleiters sich gleich sind, dieselbe Ladung erhalten werden wird, mag man Platten von der einfachen oder hundertfachen Oberfläche anwenden. Biot fand ferner, indem er die Ladungen verglich, die durch Säulen von gleich viel Plattenpaaren, aber mit verschiedenen leitenden Flüssigkeiten aufgebaut, erhalten wurden, daß das Wasser, die Auflösung von Kochsalz, von Salmiak, von chlorsaurem Kali, von Alaun und von Eisenvitriol, mithin Flüssigkeiten von sehr verschiedener Beschaffenheit, einander sehr nahe in ihrer Wirksamkeit kamen, so daß sonach die endliche Ladung der Pole unabhängig von dem verschiedenen Leitungsvermögen der Flüssigkeiten zu sein scheint, das Erscheinungen zufolge, die wir im Nachfolgenden betrachten werden, wahrscheinlich nur die Zeit, in welcher die Ladung zu Stande kommt, modificirt. Allerdings fand Biot zwischen andern Flüssigkeiten, z. B. Natronauflösung und Alaunauflösung u. s. w. sehr bedeutende Verschiedenheiten in dem angegebenen Bezug. Wir haben jedoch nach später zu erörternden Erfahrungen guten Grund, diese Verschiedenheiten darin zu suchen, daß manche Flüssigkeiten so schnell verändernd auf die Metalle, mit denen sie geschichtet werden, einwirken, daß das elektrische Verhältniß der Metalle selbst zu einander dadurch verändert wird, was denn auch natürlich die Intensität der davon abhängigen Ladung verändern muß.

Wird eine Voltasche Säule gebaut, ohne dieselbe mit einem ihrer Pole mit dem Erdboden in leitende Verbindung zu setzen, haben wir z. B. eine isolirte Säule von 4 Plattenpaaren Zink und Kupfer mit dazwischen gelegten feuchten Leitern, so wird Zink und Kupfer jedes Plattenpaares dieser Säule gleich stark, das Zink positiv und das Kupfer negativ, elektrisch werden durch die Berührung an einander, und durch die feuchten Leiter wird überdieß die Elektr. jeder einzelnen Metallplatte auch über die übrigen Platten gleichmäßig verbreitet werden. Setzen wir wieder die Intensität der posit. Elektr., welche durch die Berührung eines Plattenpaares erregt wird, $= +1$, die der gleich starken negat. $= -1$, so erhalten wir für die einzelnen Platten der ganzen Säule folgende Intensitäten:

Digitized by Google

$$
\begin{array}{lcl}
Z_4 & = & +1+1+1+1=+4 \\
c_4 & = & +1+1+1-1=+2 \\
Z_3 & = & +1+1+1-1=+2 \\
c_3 & = & +1+1-1-1=0 \\
Z_2 & = & +1+1-1-1=0 \\
c_2 & = & +1-1-1-1=-2 \\
Z_1 & = & +1-1-1-1=-2 \\
c_1 & = & -1-1-1-1=-4
\end{array}
$$

Auf diese Weise findet sich, daß die Intensität der Pole einer isolirten Voltaschen Säule im geraden Verhältniß der Plattenpaare zunimmt, und daß sie von den Polen an nach der Mitte hin, wo sie $= 0$ ist, nach arithmetischen Differenzen abnehmen muß. Während die nicht isolirte Säule nur eine der beiden entgegengesetzten Elektr. hat, hat die isolirte Säule deren zwei, während bei jener nur der eine Pol elektrisch ist, sind bei dieser beide Pole elektrisch, der eine positiv, der andere negativ. Bei zwei Säulen von gleich vielen gleich großen Plattenpaaren, deren eine isolirt, die andere nicht isolirt ist, ist die Intensität der Elektr. an dem einen Pole der ersteren nur halb so stark als die Intensität an dem elektr. Pole der mit dem andern Pole mit dem Erdboden in Verbindung gesetzten Säule. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt darin, daß auch bei einfachen Plattenpaaren die Intensität der Elektr. zweier isolirten nur halb so groß ist als die derselben, wenn eine der Platten mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt ist.

Mittelst einer Säule kann man eine Leidner Flasche laden, indem man den einen Pol der Säule mit dem einen Belege der Flasche in Verbindung bringt, während zugleich der andere Pol der Säule und die andere Belegung der Flasche mit dem Erdboden in Verbindung stehen. Mittelst einer Säule von 50 Plattenpaaren (je mehr desto besser) kann man die gewöhnliche elektr. Anziehung ungleichartig geladener Körper (vergl. d. Art. Elektricität) nachweisen, indem man feine Goldblättchen an Drähte, die mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, befestigt und einander nähert. Die Goldblättchen gehen zusammen und bleiben an einander hängen. Der Versuch wird am besten, um Bewegung durch die Luft zu verhindern, so angestellt, daß man die Goldblättchen parallel und nahe neben einander an den Enden zweier Drähte herabhängen läßt, die durch die durchbohrten Wände eines gewöhnlichen Trinkglases mittelst Korkstöpseln, in denen sie sich verschieben lassen, einander gegenüber hindurchgesteckt sind, und die nach Außen hervorragenden Enden dieser Drähte mit den Polen in metallische Verbindung setzt (Fig. 174.). Setzt man die Pole mit den gleichartigen Polen zweier Säulen in Verbindung, so stoßen sich umgekehrt die genäherten Goldblättchen ab, weil beide dann gleichnamig elektrisch werden.

Der Theorie nach sind bei einer isolirten Säule beide Pole zwar entgegengesetzt, aber gleich stark elektrisch. Bei einer wirklich errichteten Säule ist aber in der Regel der frei in die trockene Luft ragende Pol stärker elektrisch, als der auf welchem die Säule ruht. Der Grund

Digitized by Google

ist, daß trockene Luft immer ein besserer Isolator ist, als irgend ein fester isolirender Körper (Glas, Harz u. dergl.), auf welchen man die Säule mit ihrem unteren Pole gestellt hat.

Der Umstand, daß auch die besten Isolatoren doch die Elektr. noch in gewissem Grade zu leiten vermögen, ist der Grund zu folgender auffälligen Erscheinung. Man errichte eine Säule von so viel Plattenpaaren, daß sie, bei ableitender Berührung des einen Pols, mit dem andern ein Elektrometer auch ohne Anwendung des Condensators bis zur deutlichen Anzeige zu laden vermag. Man stelle diese Säule auf einen Harzkuchen und auf einen andern Harzkuchen daneben stelle man ein Elektroskop. So oft man nun den einen Pol der Säule ableitend berührt, wird zugleich das Elektroskop eine Bewegung zeigen, und diese Bewegung wird auffallend stärker werden, wenn man zugleich mit dem Finger der anderen Hand das Glas berührt, in welchem das Elektroskop eingeschlossen ist, oder wenn man von dem nicht berührten Pol eine Ableitung nach einem vom Elektometer entfernten Orte des Erdbodens anbringt.

Daß in der That die unvollkommene Isolirung Grund der Erscheinung ist, geht daraus hervor, daß, als Bischoff auf den Harzkuchen eines Elektrophors Glasplatten und darauf wieder Harzplatten u. s. w. legte und oben darauf das Elektrometer stellte, er bei ableitender Berührung eines Poles der Säule keine Bewegung des Goldblattes bemerkte, selbst dann nicht, wenn er zugleich mit der anderen Hand den Harzkuchen des Elektrophors berührte. Eine Combination mehrer Nichtleiter isolirt hiernach besser als ein einfacher Nichtleiter.

Ueber die Verbindung mehrer Säulen zu einer einzigen macht Fechner folgende Bemerkungen:

Gesetzt die Verbindung zweier Säulen geschehe so, daß der negative isolirte Pol der einen mit dem positiven isolirten Pol der andern in Verbindung gesetzt würde, so erhellt leicht aus Betrachtung der Folge, in der sie geschichtet sind, daß dann die eine Säule schlechthin als eine Fortsetzung der andern betrachtet werden kann, *) daß mithin zwei gleiche Säulen durch solche Verbindungsart eigentlich einer einzigen Säule von doppelter Plattenzahl äquivalent werden. Von diesem Umstande kann man einen vortheilhaften Gebrauch machen, wenn es darauf ankommt sehr viele Plattenpaare zu combiniren, die es schwer, ja unmöglich halten würde, zu einer einzigen verticalen Säule aufzuthürmen. Man hat nämlich nur nöthig, aus diesen Platten 2, 3, 4 oder beliebig viele Säulen neben einander bis zu gleicher Höhe, aber in umgekehrter Ordnung auf möglichst gut isolirten Trägern aufzubauen, so daß, wenn bei der einen Säule der positive Pol zu unterst liegt, bei der nächsten der negative Pol zu unterst zu liegen komme, worauf es leicht sein wird, durch metallne Streifen oder Drähte, die von beliebigem Metall

*) Bei metallischer Verbindung können die Endplatten der verbundenen Pole weggelassen werden, bei Verbindung durch einen feuchten Leiter nicht.

Digitized by Google

sein können, die Verbindung der successiven ungleichnamigen Pole zu bewerkstelligen.

Verbindet man zwei Säulen nicht mit zwei der ungleichnamigen, sondern mit zwei der gleichnamigen isolirten Pole zu einer einzigen, so läßt sich leicht aus dem Umstande, daß ihre Schichtungen dann sich in umgekehrter Ordnung succediren, folgern, daß die Spannung an den nicht verbundenen Endpolen der so combinirten Säule bloß so groß sein kann, wie sie eine Säule geben würde, deren Plattenzahl gleich der Differenz der Plattenzahlen beider Säulen wäre, was auch die Erfahrung bestätigt. Hiermit im Zusammenhange steht, daß, wenn man in einer Säule von vielen Schichtungen ein oder ein Paar Plattenpaare in verkehrter Ordnung legt, ein Versehen, was man leicht begehen kann, dieß die Wirkung der Säule nicht völlig aufhebt, sondern bloß daß jedes verkehrte Plattenpaar so zu sagen die Wirkung eines recht gelegten neutralisirt und entsprechend die Wirkung der ganzen Säule mindert.

Verbindet man andererseits bei zwei neben einander stehenden gleichen Säulen nicht bloß zwei der gleichnamigen Pole, sondern zugleich auch die beiden andern, und betrachtet dann jede dieser beiden Pol-Combinationen als einen Pol, so erhellt, daß man alsdann eigentlich die Anordnung einer Säule von der doppelten Plattengröße aber derselben Plattenzahl als jede der einfachen Säulen erhält. Hierdurch erhält man ein für gewisse später zu erörternde Wirkungen oft sehr nützliches Mittel, Säulen aus kleinen Platten, indem man mehre derselben durch Verbindung ihrer sämmtlichen gleichartigen Pole combinirt, als großplattige wirken zu lassen.

Wenn die gleichnamigen oder ungleichnamigen Pole der Säulen, die man mit einander in Verbindung setzt, nicht isolirt sind, sondern mit dem Erdboden communiciren, so wird dadurch der Bezug beider Säulen hinsichtlich der elektroskopischen Wirkungen vollkommen aufgehoben; keine Säule kann mehr zur Verstärkung oder Schwächung der andern wirken, sondern jede wirkt gerade so fort, als vorher, da sie ohne Gegenwart der andern mit dem Boden in Verbindung war, oder als ob die andre Säule bloß als ein Theil zu der an sich schon unendlichen Ableitungsgröße der Erde hinzuträte. Dieß Resultat ergibt sich theils theoretisch nach derselben Herleitung, nach der die Wirkung der Säule überhaupt erklärt wurde, theils findet es sich vollkommen durch die Erfahrung bestätigt. Eine Folgerung daraus ist, daß, wenn wir an einer an beiden Polen isolirten Säule eine Ableitung nach dem Erdboden irgendwo in der Mitte anbringen, dadurch diese Säule im Grunde in zwei Säulen getheilt wird, die an dem abgeleiteten Punkte zusammenstoßen, deren jede aber sich gerade so verhält, als wenn die jenseits der abgeleiteten Punkte hinaus liegenden Plattenpaare der andern Säule nicht vorhanden wären. Der abgeleitete Punkt selbst ist sonach null elektrisch und von da nehmen in jeder Säule die Elektricitäten nach den Polen auf die für eine einfache Säule erörterte Weise zu, daher allemal derjenige Pol die stärkere Elektr. hat, von welchem die Ableitung entfernter ist, weil er eigentlich einer Säule von mehr Plattenpaaren angehört.

Setzt man zwei Säulen mit den gleichnamigen Polen in Verbindung und bringt zugleich an der Verbindungsstelle eine Ableitung nach dem Erdboden an, so erhält man hierdurch scheinbar eine Säule, deren Pole gleichnamige Elektr. zeigen. Allein erörtertermaßen ist eine solche Säule nur als eine Zusammensetzung aus zweien, die außer Beziehung mit einander stehen, zu betrachten.

Interessante Versuche sind von Fechner angestellt worden, welche mittelst einer Säule die gebundene Elektr., welche an den Berührungsflächen der Platten condensirt ist, nachweisen. Bei allen vorerwähnten Beobachtungen kam diese Elektr. gar nicht zur Erscheinung, weil die Platten immer ungetrennt blieben. Fechner's Versuche sind folgende: Man errichte mit Wasser eine Säule von 20 bis 25 Plattenpaaren von Guldengröße in der Anordnung: Zink, Kupfer, feuchter Leiter, Zink, Kupfer u. s. w. Den obern Pol der Säule muß eine Zinkplatte bilden, welche fein und gleichförmig abgefeilt oder abgeschliffen ist. Den unteren oder Kupferpol der Säule setze man durch eine Metallkette mit dem Boden in Verbindung. Man berühre die obere isolirte Zinkplatte wiederholt mit der Ecke einer eben so großen isolirt gehaltenen Kupferplatte, deren dabei erlangte Elektr. man jedesmal an ein condensirendes Elektroskop überträgt. Hierbei ist die Elektr., die das Kupfer durch Berührung mit dem Zink annimmt, wegen der kleinen Berührungsgröße als unmerklich außer Acht zu lassen, und die Kupferplatte wird demnach bloß vermöge der Elektr., die vom Zinkpol auf sie übergeht, geladen erscheinen können. In der That gibt das Elektroskop nach einigemal wiederholten Uebertragungen positive Elektr. zu erkennen. Die Intensität dieser vom pos. Pol auf die Kupferplatte übergehenden Elektr. ist jedoch weit geringer, als die Intensität der negat. Elektr., welche auf der Berührungsfläche des Kupfers mit dem Zink condensirt, und nach der Entfernung davon frei wird; und bloß die geringe Quantität dieser condensirten Elektr. bewirkte beim vorigen Versuche das Uebergewicht der pos. Elektr. des Pols. In der That man wiederhole jetzt den vorigen Versuch so, daß man den Zinkpol, anstatt ihn bloß mit einer Ecke der Kupferplatte zu berühren, mit der ganzen Fläche derselben berührt. Nach einigemal wiederholter Uebertragung wird jetzt das Elektroskop starke negative Elektr. zu erkennen geben. Hiernach muß es einen mittleren Grad der Berührungsgröße geben, wo beide Elektr. sich vollkommen compensiren und selbst nach wiederholter Uebertragung an das Elektroskop dieses gar keine Elektr. empfängt. Die Erfahrung bestätigt dieß.

Die Zamboni'sche oder trockene Säule unterscheidet sich von der Voltaschen wesentlich nur dadurch, daß der feuchte Leiter aus einem nur wenige Feuchtigkeit enthaltenden Halbleiter besteht. Durch die Flüssigkeit werden bei den gewöhnlichen Säulen die Metalle angegriffen und dadurch verlieren nach einiger Zeit die Säulen ihre Wirksamkeit. Die Zamboni'schen Säulen zeigen alle elektroskopischen Wirkungen ganz wie die gewöhnlichen Säulen Jahre lang. Diejenigen Erscheinungen aber, welche an der geschlossenen Säule vorkommen und von denen erst im Folgenden die Rede sein wird, werden von Zam-

Digitized by Google

bonischen Säulen nur bei außerordentlich starken Apparaten bemerkt.*) Zamboni hat sich zuerst viel mit solchen trockenen Säulen beschäftigt, daher man sie nach ihm benannt hat.

Man stellt die Zamboni'schen Säulen am einfachsten her, indem man Scheiben aus unächtem Gold- und Silberpapier schneidet und diese so über einander schichtet, daß allemal eine Silberfläche einer Goldfläche gegenüber liegt, und dann die Scheiben durch einen gehörigen Druck, gewöhnlich indem man sie mittelst übersirnißter Seidenfäden zusammenschnürt, in innige Verbindung mit einander bringt. Zuweilen werden sie in eine luftdicht verkittete Glasröhre eingeschlossen, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen wird, welche mit den Polplatten der Säule in Verbindung stehen und von welchen Drähte oder Platten ausgehen, auf welche die Elektr. der Pole übergeht und so nach Außen wirken kann. Um auffallendere Wirkungen zu erhalten, muß man wenigstens 800 bis 1000 Scheibenpaare zu einer Säule verbinden. Zamboni baute auch Säulen aus Silberpapier, welches auf der Rückseite mit einer Auflösung von schwefelsaurem Zink in Wasser genetzt, dann getrocknet wurde, und über welches eingetrocknetes Salz, dann gepulverter und wohlgetrockneter schwarzer Braunstein eingerieben wurde. Biot errichtete Säulen aus Kupfer und Zink mit dazwischen gelegten Scheiben aus geschmolzenem Salpeter; Hachette schied die Platten durch eine Schicht mit Kochsalz vermengten Mehlkleisters, der an der Luft trocknete; Ritter erbaute Säulen aus Zink, Kupfer und lufttrockenem Schafleder; Watkins hat sogar die Zwischenleiter durch Luftschichten ersetzt. Doch sollen alle diese und andre Einrichtungen praktisch weniger vortheilhaft als die zuerst angegebene sein. Vergl. indeß d. Art. Elektrometer S. 233.

Die Größe der Scheiben ist nach Bohnenberger auf die Größe der endlichen Ladung, welche eine, an einem Pole mit dem Boden in Verbindung stehende Säule dem Elektrometer ertheilt, ohne Einfluß; dagegen ist die Zeit, in welcher das Elektrometer seine volle Ladung dadurch erhält, oder in welcher eine Leidner Flasche dadurch bis zum Maximum geladen wird, sehr abhängig von der Größe der Scheiben. Die Ladung ist desto eher vollendet, je größer die Scheiben sind.

Die Ursache dieser Erscheinung sucht Fechner darin, daß je größer die Oberfläche des Elektrometers oder die Capacität der Leidner

*) Bohnenberger erhielt mittelst einer Säule von 1800 Doppelblättern, von denen jedes viereckige Blatt 6 Zoll lang und 6 Zoll breit war, eine eben so starke Gasentbindung, als mit einer Säule von ungefähr 60 bis 100 zweizölligen Doppelscheiben. Diese Säule gab auch Schläge. Ebersbach, der 4 Säulen, jede zu 3000 Scheiben von $3\frac{1}{2}$ Quadratzollen zu einer Säule verband, erhielt ebenfalls chemische Wirkungen, Funken und Schläge. Singer durchbohrte durch den Schlag einer Säule von 20000 Folgen dickes Zeichenpapier und schmolz Platindraht von $\frac{1}{1000}$ Zoll Durchmesser.

Flasche im Verhältniß zu den Scheiben ist, um so mehr werden sie im ersten Augenblicke, wo sie an den Polscheiben angebracht werden, deren Intensität schwächen müssen, und um so längere Zeit wird auch erforderlich sein, ehe dieser Verlust durch Zuleitung aus den übrigen Gliedern der Säule wieder so weit ersetzt werden kann, daß nun die Polscheibe und der daran angebrachte Apparat auf die Intensität kommen, die ihnen im Zustande des Gleichgewichts unter den obwaltenden Umständen zukommen muß. Daß man bei der Voltaschen Säule nichts von einem Unterschiede in der Zeit der Ladung je nach der Größe der angewandten Plattenpaare bemerkt, obschon man der Analogie nach annehmen muß, daß er stattfindet, mag daher kommen, weil hier die Ladung sowohl beim Elektrometer als bei der Leidner Flasche in jedem Falle so schnell vor sich geht, daß sie in einem Augenblicke vollendet scheint. Auch bei der Zamboniſchen Säule bemerkt man, daß außer der Größe der Platten auch die größere oder geringere Leitungsfähigkeit des Zwischenleiters von Einfluß auf die Zeit der Ladung ist. Man hat z. B. gefunden, daß die Geschwindigkeit der Ladung durch solche Säulen, deren Elektromotore durch Papier von einander getrennt sind, welches nur mit thierischem Leim bestrichen oder damit getränkt ist, durch das Austrocknen in der Wärme vermindert und durch die Feuchtigkeit vergrößert wird. Bei der Voltaschen Säule findet die vollkommenste Leitungsfähigkeit der Zwischenleiter und in Folge dessen die größte Geschwindigkeit der Ladung statt.

Die Wirksamkeit der Zamboniſchen Säule scheint auf demselben Principe wie die der Voltaschen Säule zu beruhen, und der Name trockene Säule scheint nur im Vergleich mit der Voltaschen Säule anwendbar, da die Zwischenleiter der Zamboniſchen Säule immer auch feuchte, wenn auch weniger feuchte Körper als bei der Voltaschen Säule sein müssen. Diese Annahme wird durch die Erfahrung bestätigt, daß, wenn man eine gewöhnliche Zamboniſche Säule gänzlich oder nur mäßig durch Wärme austrocknet, sie dann, auf gewöhnliche Temperatur herabgekommen, so lange keine Elektr. am Elektrometer zu erkennen gibt, bis sie wieder allmählig Feuchtigkeit aus der Luft angezogen hat. Ganz gegen das Princip der Wirksamkeit der Voltaschen Säulen ist aber die Erfahrung, daß Zamboniſche Säulen, welche vollkommen ausgetrocknet worden, in dem Maße als sie weiter erwärmt werden, ihre verlorne Wirksamkeit wieder erlangen, so daß sie bei 70° bis 75° C. sogar stärker als die nicht ausgetrocknete Säule bei gewöhnlicher Temperatur auf das Elektrometer wirken. Das Papier wird durch Austrocknung zum Nichtleiter, es kann also nicht mehr ähnlich, wie bei der Voltaschen Säule die feuchten Zwischenleiter, wirken. Auch hat man auf das Elektrometer wirksame Säulen construirt, bei denen die Zwischenlagen zwischen den Elektromotoren aus vollkommenen Nichtleitern bestanden. Zur Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung hat man angenommen, daß, wenn zwischen zwei Elektromotoren einer Säule ein dünner Nichtleiter befindlich ist, so daß die Elektr. nicht mehr von einer Platte zur anderen direct übergehen

Digitized by Google

kann, sie dann mittelst Vertheilung *) durch diesen Nichtleiter hindurchwirkt, und so in dem nächsten Plattenpaare eine ihrer eigenen Stärke proportionale Zersetzung der entgegengesetzten Elektricitäten bewirkt, welche zu denen noch hinzukommen, die das Paar der Elektromotoren vermöge seiner eigenen elektromotorischen Wirkung erlangt. Die Elektr. wird sich um so mehr verstärken, je mehr Schichtungen vorhanden sind. Hiernach beruhte die Wirkung der völlig trockenen erwärmten Zamboni'schen Säule auf der Vertheilung (Atmosphärenwirkung) der Elektr., während die Wirksamkeit einer gewöhnlichen Zamboni'schen Säule mit halbfeuchten Zwischenlagen zwischen den Elektromotoren auf der Mitthrilung der Elektr. beruht.

Die Zamboni'sche Säule ist zu Herstellung eines sogenannten elektrischen Perpetuum Mobile (lat., immer bewegtes) benutzt worden. Dasselbe besteht in zwei Zamboni'schen Säulen (Fig. 175.), deren ungleichnamige nach unten gekehrte Pole A und B in Glöckchen ausgehen, während die oberen Pole metallisch durch einen Querstab verbunden sind, so daß im Grunde beide Säulen nur Eine bilden; an dem Querstabe hängt an einem Faden von roher Seide ein leichtes Kügelchen zwischen den Glocken herab, welches abwechselnd von dem einen und dem anderen Pole angezogen, ein continuirliches Glockenspiel hervorbringt. Ist diese Säule hinlänglich stark, so bemerkt man beim Anschlagen im Dunkeln Funken. Die Schnelligkeit der Pendelschläge ändert sich mit der Witterung. **)

Rouſſeau hat die Zamboni'sche Säule zur Vergleichung des Leitungsvermögens verschiedener Flüssigkeiten benutzt. Zu diesem Ende wird eine Zamboni'sche verticale Säule mit ihrem unteren Pole mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt, während ihr oberer Pol durch einen Metalldraht mit einem isolirten verticalen Stifte communicirt, auf welchem eine horizontale schwach magnetische Stahlnadel schwebt, welche bekanntlich immer von selbst in die Richtung des magnetischen Meridians sich stellt. In der nämlichen Höhe mit der Nadel und einer Entfernung vom Stift, welche fast der halben Länge der Nadel gleich ist, findet sich eine, ebenfalls mit dem oberen Pole der Säule in leitender Gemeinschaft stehende, übrigens isolirte, Metallkugel, oder ein Scheibchen von Metall, welches so angebracht ist, daß es gerade vor dem einen Ende der Nadel steht. Da sich nun die Elektr. des oberen Poles sowohl in das Scheibchen als in die Nadel verbreitet, so muß hierdurch eine Abstoßung entstehen (gleichnamige Elektricitäten stoßen sich ab), welche die Nadel von dem Scheibchen abzulenken strebt. Nach Vollbringung einiger Oscillationen wird die Nadel zuletzt unter einem fixen Ablenkungswinkel von dem Scheibchen stehen bleiben, welcher, wenn die Versuche schnell genug hinter einander angestellt werden, daß Veränderungen im Zustande der Luft die Wirksamkeit der Säule

*) S. d. Art. Elektricität.

**) Ueber ein anderes elektrisches Glockenspiel s. d. Art. Flasche, Leidner. S. 460.

nicht abändern, stets der nämliche für die nämliche Säule bleibt. Allein die Zeit, in welcher das Maximum dieses Ablenkungswinkels erreicht wird, ist größer oder kleiner, je nachdem man auf dem Wege, den die Elektr. von der Säule bis zur Nadel und dem Scheibchen zu durchlaufen hat, Flüssigkeiten von schlechterem oder besserem Leitungsvermögen zwischen einbringt, und durch Vergleichung dieser Zeiten für verschiedene Flüssigkeiten lassen sich sonach größere und kleinere Differenzen ihres Leitungsvermögens bestimmen, nur muß man die Vorsicht beobachten, die Dicke der zu durchlaufenden Schicht der flüssigen Körper immer gleich einzurichten, was man dadurch erlangen kann, daß man sie in ein metallenes Schälchen thut, dessen Boden mit der Nadel sowohl als mit dem Scheibchen communicirt, und nun in die Flüssigkeit den Verbindungsdraht von der Säule stets bis zu derselben Tiefe einsenkt. Mit Hülfe dieses Apparates, den man Diagometer (griech., Leitungsmesser) genannt hat, fand Rousseau, daß das Olivenöl ein bei weitem geringeres Leitungsvermögen als die meisten anderen Oele besitzt. Bei Buchecker- und Mohnöl waren nur 27 Sec. erforderlich, um eine Ablenkung hervorzubringen, welche bei Olivenöl erst nach 40 Minuten eintrat. Wenn dem Olivenöl $\frac{1}{100}$ eines anderen Oeles zugefügt wurde, so reducirte sich diese Zeit von 40 Min. auf 10 Min. Auch für feste Körper läßt sich der Apparat zu Bestimmung des Leitungsvermögens einrichten.

Die wichtigste Anwendung der trockenen Säulen hat man gemacht in der Elektrometrie, s. d. Art. Elektrometer S. 232.

Die oben erwähnten werden dreigliedrige Säulen (zwei Metalle und ein Zwischenleiter) genannt, zum Unterschiede von den zweigliedrigen Säulen. Die ersten Beobachtungen über derartige Säulen hat Zamboni gemacht. Derselbe setzte eine Säule aus 20 kleinen Vierecken von bloßem Silberpapier zusammen, so daß die Metallflächen alle nach unten gekehrt waren und berührte das obere Ende der Säule mit der Collectorplatte eines guten Condensators, während das untere Ende der Säule mit dem Fußboden in Verbindung war. Es zeigte sich nach etwa $\frac{1}{4}$ Minute Zeit am Elektrometer eine Divergenz (durch positive Elektr.) von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll, und diese nahm zu, je mehr Scheiben hinzugefügt wurden.

Zamboni fand jedoch das elektrische Verhalten dieser Säule sehr wechselnd. Eine solche Säule, die am Morgen sehr kräftig gelungen war, sah er auf einmal Abends unkräftig werden; 50 Platten von dem einen Silberpapier gaben an einem Tage nicht den Grad von elektrischer Spannung, den in demselben Augenblicke 10 Platten eines andern Papiers erzeugten; feuchte oder trockene Luft schienen die eine Säule zu beleben, eine andere zu ertödten. In einigen Fällen sah sogar Zamboni die elektrische Polarität sich umkehren und die Papierseite negativ werden. Durch Abänderung der Versuche mit dieser Art Säule so wie mit einer andern, bei welcher er das Papier mit Honig durchdrungen hatte, und wo die Papierfläche stets positiv blieb, ohne sich je umzukehren, glaubte Zamboni den allgemeinen Schluß ziehen zu können, daß die positive Seite der Säule allemal nach derjenigen Seite hinfällt,

Digitized by Google

wo das Metall in einer größern Anzahl Punkten von Feuchtigkeit berührt wird, so daß, je nachdem sich mehr Feuchtigkeit an der belegten Fläche des Papiers oder an der andern Fläche befindet, der positive Pol nach der einen oder nach der anderen Seite fallen könne. In der That scheint diese Ansicht ihre Bestätigung durch eine andere Art zweigliedrigen Apparats zu finden, bei welcher wirklich die Erregung der Elektr. von nichts anderem als einer solchen Ungleichheit der Berührungsgröße mit Feuchtigkeit abgeleitet werden kann.

Zamboni schnitt aus Stanniol, der auf beiden Seiten auf das Glätteste polirt war, Vierecke von $\frac{1}{2}$ Zoll Seite, die jedes in einen feinen 2 bis 3 Zoll langen Schwanz ausliefen. Auf einer isolirten Fläche wurden in einem Kreise 30 kleine runde Uhrgläser gestellt und alle bis zu einer gewissen Höhe mit destillirtem Wasser gefüllt. Darauf legte er in das erste Uhrglas einen dieser Stanniolstreifen so hinein, daß das Viereck sich ganz darin befand, der Schwanz aber über den Rand dieses und des nächstfolgenden Glases hinüberging und mit seiner feinen Spitze das Wasser des zweiten Glases berührte. In diesem lag auf dieselbe Weise das zweite viereckige Blättchen, dessen Schwanz eben so in das dritte Glas hinüber reichte u. s. f. bis zum dreißigsten Glase. Darauf setzte er einen zweiten Apparat ganz auf ähnliche Weise aus 30 Gläsern mit Stanniolblättchen und destillirtem Wasser, nur mit dem einzigen Unterschiede zusammen, daß hier die Stanniolstücke längliche Vierecke bildeten, welche, auf den Rändern zweier neben einander stehenden Gläser gleichsam reitend, mit den beiden Enden gleich tief in das Wasser beider Gläser eintauchten.

Als nun Zamboni den Collector eines condensirenden Elektroskops $\frac{1}{2}$ Minute lang mit dem Wasser des erstbeschriebenen Apparats in Berührung erhalten hatte, während das Wasser des letzten Glases mit dem Boden in Verbindung gewesen war, zeigte sich am Elektrometer eine positive Ladung; indeß, wenn das Wasser des letzten Glases mit dem Condensator und das des ersten Glases mit dem Boden verbunden wurde, der Condensator eine negative Ladung erhielt. An dem zweiten Apparate dagegen, in welchem das Wasser jedes Glases mit zwei gleich großen Theilen der Metallblättchen in Berührung war, vermochte er bei wiederholten mit der größten Genauigkeit angestellten Versuchen nie auch das geringste Zeichen von Elektr. zu entdecken. Auch überzeugte er sich sehr deutlich, daß in dem zweiten Apparate die elektrische Spannung sich sogleich entwickelte, sobald er nur eine Ungleichheit der Berührungspunkte hervorbrachte. — Ganz so wie hier verhielt sich bei diesen Versuchen auch Zink.

Zamboni bemerkt, daß der vorerwähnte Apparat nicht sogleich nachdem er zusammengesetzt war eine elektr. Spannung äußerte. Diese erschien erst nach einigen Minuten und wuchs dann so stufenweise, bis sie zu einem Maximum gelangte, was wahrscheinlich einerseits auf der langsamen Durchbewegung der Elektr. von einer Abwechselung zur andern, andrerseits darauf beruhen mag, daß die Metallblättchen einige Zeit nöthig haben, sich mit dem Wasser in gehörige innige Berührung zu setzen.

Um die Wirkung einer besser leitenden Flüssigkeit als Wasser zu

Digitized by Google

prüfen, erhöhte Zamboni das Leitungsvermögen des reinen Wassers in den Gläsern von Stufe zu Stufe durch Salmiakauflösung, von der er zuerst nur zwei oder drei Tropfen dem Wasser in jedem Glase des Apparats zusetzte. Durch diesen Zusatz gewann der Eintritt der elektrischen Spannung viel an Geschwindigkeit, auch nahm sie etwas an Größe zu, doch war immer noch eine merkliche Zeit nöthig, ehe sie sich in dem Condensator des Elektrometers vollkommen anhäufte. Ein zweiter Zusatz einiger Tropfen der Salmiakauflösung gab der elektrischen Spannung eine noch größere Geschwindigkeit, dagegen fing die Größe der Spannung an, etwas abzunehmen; und als er auf dieselbe Weise fortfuhr, das Leitungsvermögen des Wassers durch Salmiak zu erhöhen, schien sich die Geschwindigkeit der elektr. Spannung immerfort auf Kosten der Größe derselben zu vermehren, bis endlich die elektrische Spannung ganz und gar ausblieb. Es ergibt sich hieraus, daß die zweigliedrige Säule nicht bloß Ungleichheit der Berührung des feuchten Körpers mit den Metallflächen zur Bedingung hat, sondern auch noch verlangt, daß der feuchte Körper ein vollkommener Leiter sei.

Zamboni fand ferner, daß, wenn man in dem Zeitpunkte, in welchem der zweigliedrige Apparat das Maximum der Spannung erhalten hat, den Condensator damit ladet, bei unmittelbarer Wiederholung des Versuchs eine lange dauernde Berührung nöthig ist, um die vorige Spannung hervorzubringen, und bei mehrmaliger Wiederholung des Versuchs hinter einander nach gleich langer Berührung mit dem Condensator die elektr. Spannung sich jedesmal geringer zeigt, bis sie endlich ganz verschwindet und sich erst nach einigen Minuten wieder in den ersten Zustand setzt.

Zamboni setzte einen ähnlichen Apparat, wie aus Zink und Zinn, aus Kupfer zusammen. Nach einigen Stunden entwickelte sich eine schwache elektr. Spannung, die er der Hälfte der aus Stanniol oder Zink entwickelten gleich schätzte; aber die Polarität dieses Apparats war die entgegengesetzte, die er unter gleichen Umständen mit Stanniol oder mit Zink erhalten hatte. Er baute darauf eine zweigliedrige Säule aus unächtem Goldpapier auf und fand auch hier wieder das Kupfer positiv, das Papier negativ. Auch kehrte sich diese Polarität niemals um, selbst dann nicht, wenn er die Feuchtigkeit des Papiers durch Honig vermehrte.

Erman's Versuche über die zweigliedrige Säule haben die Beobachtungen Zamboni's der Hauptsache nach bestätigt.

Eine Säule von 1100 Scheiben sogenannten Goldpapiers lud, wenn sie isolirt war, den Condensator an jedem Ende entgegengesetzt, hatte ihren Differenzpunkt gerade in der Mitte, und ableitende Berührung des einen Pols brachte jedesmal den entgegengesetzten Pol auf ein größeres Maximum, ja schon 30 Schichten gaben einen deutlichen Ausschlag. Eben so verhielt sich eine Säule überzinntes Papier (Silberpapier). Die Umkehrung der Pole sah Erman bei dieser Säule sehr selten, ungeachtet er seine Säulen zwei Monate hindurch beobachtete. Nur sah er die Spannung allmählig abnehmen und endlich ganz erlöschen. Höchst auffallend war hier, wie bei allen trockenen Säulen,

Digitized by Google

der Einfluß der Temperatur. Man brauchte die Säule von 1100 Schichtungen nur ¼ Stunde lang dem Sonnenlichte auszusetzen, so lud sie das Elektrometer unmittelbar ohne Condensator bis zum Anschlagen der Blättchen, und ihre Spannung stellte sich auffallend schnell wieder her. In der gewöhnlichen Temperatur brauchte man dagegen mit einem guten Condensator über 5 Minuten, um bei dieser durch die Dauer sehr geschwächten Säule die erste Spur einer Divergenz an dem Elektrometer wahrzunehmen. Erman fand für beide Arten von Säulen den Pol, nach welchem die Metallfläche lag, gleichmäßig positiv, den Pol der Papierseite negativ. Die zweite Art solcher zweigliedrigen Säulen setzte Erman aus 30 Gläsern zusammen, wovon jedes ungefähr ein Pfund Wasser enthielt, gleichsam einen Becherapparat, *) aber mit bloßem Zink, das aber das Wasser an seinen beiden Enden mit sehr verschiedenen Flächen berührte, von 29 Quadratzoll die eine, von 2 Quadratlinien die andere. Vermittelst zweier Condensatoren erhielt er Divergenzen von 5—6° am Voltaschen Strohhalmelektrometer, wenn der jedesmalige entgegengesetzte Pol ableitend berührt wurde, schon einige Minuten nach Errichtung des Apparates. Eben so verhielt sich ein Becherapparat, aus 30 Schalen zusammengesetzt, bei welchem die Zinkscheiben nur einen Quadratzoll Oberfläche hatten, die Spannung war merklich dieselbe wie bei jenen großen Scheiben, aber die Dauer der Wirksamkeit des großen Apparats war viel größer als die des kleinen und betrug so viele Wochen als bei diesem Tage.

Aus den im Vorhergehenden betrachteten elektroskopischen Erscheinungen bei Elektromotoren und Verbindungen mehrer Elektromotoren zu Säulen geht die Identität der Contactelektr. mit der Reibungselektr. hervor. Hierbei wurde angenommen, daß die entgegengesetzten Pole in keiner leitenden Verbindung mit einander standen, und es wurden namentlich die Wirkungen der Contactelektr. auf Elektroskope und Leidner Flaschen berücksichtigt.

Ganz eigenthümliche Erscheinungen treten auf, wenn man an einem Elektromotor oder einer Säule die entgegengesetzten Pole mit einander in Verbindung setzt. Jeder galvanische Apparat, bei welchem eine leitende Verbindung zwischen beiden Polen hergestellt ist, heißt eine geschlossene galvanische Kette. Eine einfache Kette erhält man, wenn zwei verschiedenartige Metalle, welche an einem oder an mehren Punkten in metallischer Berührung mit einander stehen, an anderen Punkten durch einen flüssigen Leiter mit einander in Berührung gesetzt werden. Man hat daher nur nöthig, zwischen zwei Metallplatten, etwa Zink und Kupfer, welche mit ihren Rändern in Berührung stehen, ein befeuchtetes Blatt Papier u. dergl. zu legen, oder zwei mit einander an ihren Enden in Berührung stehende Metallplatten oder Drähte mit ihren auseinander stehenden Enden in eine Flüssigkeit zu tauchen, oder auch zusammengelöthete oder sonst in innige Berührung gesetzte Metallstücke ganz in eine Flüssigkeit einzutauchen, um eine ein-

*) S. d. Folg.

Digitized by Google

sache Kette zu erhalten. Man sieht, daß der Apparat sehr vieler Abänderungen fähig ist. Gemäß der elektromotorischen Kraft, welche in Thätigkeit tritt, sobald zwei heterogene Metalle sich berühren, muß bei jeder Kette, auch wenn dieselbe geschlossen ist, Elektr. entwickelt werden. Indem nun an dem einen Metalle positive, an dem anderen negative Elektr. erregt wird, so findet bei der geschlossenen Kette, wo beide Metalle durch die Flüssigkeit in leitender Verbindung stehen, alsbald Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten statt, indem z. B. bei Zink und Kupfer die negative Elektr. des Kupfers nach dem Zink und die positive Elektr. des Zinks nach dem Kupfer durch die Flüssigkeit übergeführt wird. So wie sich fortwährend die entgegengesetzten Elektricitäten neutralisiren, bleibt auch die elektromotorische Kraft in fortwährender Wirksamkeit und es findet folglich eine ununterbrochene Strömung der positiven Elektr. vom positiven Pole nach dem negativen und eine entgegengesetzte Strömung der negativen Elektr. vom negativen Pole zum positiven statt, oder es erfolgt fortwährend von der Berührungsstelle beider Metalle an durch die ganze geschlossene Kette in jedem Punkte derselben Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten.

Gewöhnlich pflegt man nur die Richtung des Stromes der posit. Elektr. anzugeben, indem die negat. Elektr. allemal in entgegengesetzter Richtung strömt, und wenn daher ohne nähere Bestimmung von der Richtung des Stroms in der Kette gesprochen wird, so ist allemal die Richtung des Stromes der posit. Elektr. gemeint.

Wenn zwei heterogene Metallplatten sich berühren, so müssen wir nach S. 485 diejenige Elektr., welche sich an der Berührungsoberfläche anhäuft, von derjenigen unterscheiden, welche gleichmäßig über die übrige Oberfläche der Metalle und der mit ihnen in Verbindung stehenden Ableitungen sich verbreitet. Hinsichtlich der Quantität derjenigen Elektr., welche sich gleichförmig von der Berührungsoberfläche zweier Metalle aus verbreitet, kommt es nicht auf die Größe dieser Metalle an. Daher kommt es bei der einfachen Kette nicht darauf an, ob die Metalle, welche die Kette bilden, in vielen oder in wenigen Punkten einander metallisch berühren.

Bei einer geschlossenen Kette ist es nicht nöthig, die Metalle, aus welchen sie besteht, so sorgfältig zu isoliren, wie dieses bei der ungeschlossenen Kette der Fall war; denn die Elektricitäten wählen, um sich auszugleichen, stets denjenigen Weg, welchen ihnen der beste und kürzeste Leiter anweist, welcher bei der geschlossenen Kette der die Pole verbindende feuchte Leiter ist.

Es ist endlich S. 489 bemerkt worden, daß, wenn wir eine Reihe auf einander liegender verschiedenartiger Metalle haben, die freie Elektr. der Endglieder dieser Reihe stets ganz eben so sich verhält, als wenn diese beiden Glieder in unmittelbarer Berührung mit einander ständen.

Hiernach kann man eine einfache Kette herstellen, wenn man zwei heterogene Metallplatten an die Enden eines Drahtes von irgend welchem Metalle befestigt und sodann die Platten in ein Gefäß eintaucht, welches eine leitende Flüssigkeit enthält. Doch dürfen die Metallplatten innerhalb des Gefäßes nur durch die Flüssigkeit mit einander in Ver-

Digitized by Google

bindung ſtehen. Aus welchem Metall auch der beide Platten verbindende Draht beſteht, immer wird der Strom die Richtung vom Zink zum Kupfer nehmen, ganz eben ſo, als wenn Zink und Kupfer außerhalb des Gefäßes in unmittelbarer Berührung mit einander ſtänden. Der beide Metallplatten mit einander verbindende Draht wird der Schließungs- oder Verbindungsdraht oder der Schließungsbogen genannt. Sehr häufig verfertigt man auch aus einem der beiden heterogenen Metalle ein Gefäß, füllt daſſelbe mit einer leitenden Flüſſigkeit und ſenkt in dieſe das andere der beiden Metalle, wobei jedoch dieſes die Wände des Gefäßes nicht berühren darf. Ein Schließungsbogen dient, beide Metalle außerhalb der Flüſſigkeit mit einander in Verbindung zu ſetzen.

Daß man ſtatt der Flüſſigkeit nicht auch ein Metall nehmen könne, um eine einfache Kette mit continuirlicher Strömung der Flüſſigkeit zu erhalten, beweiſt Fechner durch folgende Betrachtung. Geſetzt z. B. K und Z (Fig. 176.) ſeien zwei ſich bei a berührende Platten Kupfer und Zink und man brächte ſtatt eines ſchließenden feuchten Leiters einen kupfernen Verbindungsdraht K′ an, der ſie von einer andern Seite verbände, ſo würde der negativen Elektr., die von a nach KK′ den Kreis zu durchlaufen ſtrebt, eine gleich ſtarke negative Elektr. entgegenwirken, die vermöge der bei b ſtattfindenden Berührung des kupfernen Schließungsdrahtes K′ mit Z ſich nach bK′ zu verbreiten ſtrebt, ſo daß anſtatt einer continuirlichen Strömung der negat. Elektr. nach einer oder der anderen Seite vielmehr vermöge des Entgegenwirkens beider gleicher Elektricitäten ein Gleichgewichtszuſtand beider eintreten müßte, vermöge deſſen das ganze Syſtem KK′ einen gleichförmigen fixen Zuſtand negativer Elektr. behaupten würde. Dieſelbe Schlußfolge läßt ſich auch für die poſitive Elektr. von Z gültig machen, und berückſichtigt man das (S. 489 erörterte) Geſetz der galvaniſchen Spannungsreihe, ſo kann man als Folgerung ableiten, daß, auch wenn der Schließungsbogen K′ aus einem beliebigen anderen Metalle als K und Z beſteht, ein ſolcher Gleichgewichtszuſtand eintreten muß.

Metalliſch geſchloſſene Ketten verhalten ſich daher ganz wie offene. In Bezug auf Flüſſigkeiten kann ein ähnliches Raiſonnement nicht gelten, weil, wie oben nachgewieſen wurde, Flüſſigkeiten auf Metalle keine oder doch eine nicht zu berückſichtigende elektromotoriſche Wirkung äußern.

Wenn man bei einer geſchloſſenen einfachen Kette eine der Platten am Condenſator prüfet, während die andere Platte mit dem Erdboden in leitende Verbindung geſetzt iſt, ſo wird der Condenſator durch jene Platte eben ſo geladen, als wenn die Kette ungeſchloſſen wäre. Der Grund hiervon iſt wahrſcheinlich, daß die Elektr. in den Metallen bei weitem ſchneller ſich entwickelt und über dieſelben verbreitet, als ſie durch den feuchten Leiter ſich zu neutraliſiren vermag, ſo daß ein mit der einen Platte in Verbindung ſtehender Condenſator immer diejenige Spannung anzeigt, welche der Platte auch, wenn keine Schließung ſtattfindet, zukommt. Wenn man die eine Platte iſolirt, während der Condenſator an die andere angebracht wird, ſo wird demſelben eben ſo we-

Digitized by Google

nig merkbare Elektr. mitgetheilt, als bei einem ungeschlossenen Elektromotor. Die elektroskopischen Anzeigen der einfachen Kette verhalten sich überhaupt ganz wie die eines ungeschlossenen Elektromotors, von denen im Obigen die Rede gewesen.

Eine Säule bildet eine geschlossene Kette, sobald ihre Pole durch einen feuchten Leiter in Verbindung gesetzt werden. Bei einer geschlossenen Säule bringt jedes Element (Plattenpaar) einen elektrischen Strom hervor, und zwar haben alle diese Ströme (der positiven Elektr.) dieselbe Richtung. So viel als eine Säule Elemente hat, so viele elektrische Ströme schließen sich daher bei ihr zu Einem continuirlichen Strome zusammen, der folglich um so stärker sein wird, um wie viel mehr Elemente die Säule hat. Die Schließung einer Säule wird am einfachsten hergestellt, wenn der Zinkpol einer (aus Kupfer, Zink und feuchten Leitern zusammengesetzten) Säule in einen Zinkdraht, der Kupferpol in einen Kupferdraht ausgeht und beide Drähte in ein Gefäß geführt werden, welches eine leitende Flüssigkeit enthält und in welchem sie nicht in metallischer Verbindung mit einander stehen. Die Drähte dienen hier nur als Fortsetzungen der Platten und heißen Leitungsdrähte, Schließungsdrähte, nach Ampère Rheophoren (griech., Flüssigkeitsträger).

Einen sogenannten Becherapparat erhält man, wenn man eine Anzahl von gläsernen Bechern, die eine leitende Flüssigkeit enthalten, in einen Kreis stellt, in jeden dieser Becher eine Zink- und eine Kupferplatte so senkt, daß sie sich innerhalb des Bechers nicht berühren und hierauf allemal die Zinkplatte des einen Gefäßes durch Drähte oder Streifen metallisch mit der Kupferplatte des nächsten Gefäßes verbindet. Auch kann man Streifen, deren eine Hälfte Zink, die andere Hälfte Kupfer ist, so umbiegen und in die Gläser eintauchen, daß von jedem Streifen das Zinkende in dem einen, das Kupferende in dem andern Becher, in jedem Becher aber ein Zinkende und ein Kupferende sich befindet. Da die Becher in einen Kreis gestellt sind, so wird die Kette auf diese Weise geschlossen sein, und die Flüssigkeit in den Gefäßen wirkt ganz in derselben Art, wie die feuchten Zwischenleiter bei der Voltaschen Säule.

Statt die Schließungsdrähte von demselben Metalle zu nehmen, wie die Polplatten, von welchen sie ausgehen, kann man sie auch von jedem beliebigen anderen Metalle nehmen, ohne daß dadurch ein großer Unterschied in der elektrischen Strömung hervorgebracht würde. Fechner weist dieses genauer nach. Gesetzt z. B. beide Leitungsdrähte seien von Kupfer und die Säule bestehe bloß aus drei Elementen, so werden wir nachstehendes Schema haben:

Digitized by Google

Kupfer (des Leitungsdrahtes)
1) Zink (der Polplatte)
Kupfer
Feuchter Leiter
2) Zink
Kupfer
Feuchter Leiter
3) Zink
Kupfer (der Polplatte und des Leitungsdrahtes)

} Flüssigkeit des Gefäßes.

Bei dieser Anordnung ist das oberste Element der Säule unwirksam geworden, weil hier Zink von beiden Seiten mit Kupfer in Berührung ist, und die Säule wirkt bloß noch als eine Säule von zwei Plattenpaaren. Begreiflich aber wird eine solche Verminderung der Säulenwirksamkeit um Ein Plattenpaar nicht sehr in Betracht kommen können, wenn man die Säule, wie gewöhnlich, aus 80 bis 100 oder mehr Plattenpaaren zusammensetzt, und ähnliche Schlußfolgen gelten, wenn man auch Leitungsdrähte aus beliebigen andern Metallen an die Pole anbringt; doch bleibt jedenfalls am vortheilhaftesten für die Wirkung die zuerst angeführte Anordnung.

Die Schließung der Säule kann auch so bewirkt werden, daß zwischen den Polen eine metallische Verbindung durch einen zusammenhängenden Schließungsdraht hergestellt wird. Gesetzt, man habe folgende Anordnung der Säule:

1. a. Zink
1. b. Kupfer
Feuchter Leiter
2. Zink
2. Kupfer
Feuchter Leiter
3. a. Zink
3. b. Kupfer

} Schließungsdraht.

Es ist einzusehen, daß bei einer solchen Säule das oberste Zink und das unterste Kupfer, ohne die Wirksamkeit der Säule zu ändern, weggelassen werden könne, wenn der Metalldraht an dem obersten Kupfer und dem untersten Zink schließt. In Folge der metallischen Verbindung stellen nämlich die äußersten Plattenpaare eigentlich eine zusammenhängende Folge von 4 Platten 1. b, 1. a, 3. b, 3. a, dar, für deren Wirksamkeit nach dem Vorhergehenden die Mittelglieder, also das äußerste Zink und Kupfer der Säule 1. a und 3. b, gleichgültig sind.

Ueber die elektroskopischen Wirkungen, welche die geschlossene zusammengesetzte Kette darbietet, stellt Fechner folgende Resultate der Erfahrung auf.

Wenn die Leitung durch die Glieder der Säule für alle Elemente derselben gleich beschaffen ist, was man dadurch erlangt, daß man die Pole einer gleichförmig erbauten Säule auf die letzterörterte Weise durch einen Metalldraht verbindet, so äußert sie (eben so wenig als irgend eine Art

Digitized by Google

der geschlossenen Säule) zuvörderst unter allen den Umständen der Isolation keinen merklichen Einfluß auf das condensirende Elektrometer, wo die ungeschlossenen Säulen und einfachen Elektromotoren keinen solchen äußern, also z. B. wenn man die ganze Säule isolirt und irgend eine Platte derselben am Condensator prüft.

Gesetzt aber man bringe eine der Platten dieser Säule mit dem Erdboden oder einer Fläche von großer Elektricitätscapacität in Verbindung und prüfe zugleich eine andere beliebige Platte dieser Säule mit dem Condensator, so ladet jede dieser Platten den Condensator mit der ihr zukommenden Elektricität, aber, was sehr bemerkenswerth ist, jede Platte zeigt jetzt dieselbe Intensität, als jede andere und diese Intensität ist nicht größer, als sie der Condensator von einem einzelnen Paar Metallplatten, welche beide mit der Erde in Verbindung sind, auch erhalten kann. Wie man sieht also, verschwindet durch die Schließung der Säule ein großer Theil ihrer nach Außen wirksamen Elektricitäten, indem er sich mit der entgegengesetzten unter Bildung der erörterten Strömungen ausgleicht.

Schließt man in einer Säule durch einen Metalldraht eine beliebige Anzahl Glieder in der Mitte zu einer Kette für sich, so findet sich die freie Elektr., welche die nicht zugleich geschlossenen äußersten Pole der Säule zeigen, um so mehr vermindert, je größer die Anzahl der Glieder ist, die man auf solche Weise in ihrer Mitte schließt; diese Glieder verhalten sich jedenfalls ganz so, als wenn ihre elektromotorische Wirksamkeit für die Pole der Säule verloren ginge und sie nur noch als passive Leiter wirkten.

Wenn in einer Säule die Leitung durch alle feuchte Zwischenglieder nicht gleich gut ist, sondern irgend wo zwischen zwei Elementen derselben eine Flüssigkeit sich befindet, die vermöge ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit oder ihrer Dimensionen dem Durchgang des Stromes ein größeres Hinderniß entgegensetzt, als die Zwischenflüssigkeit der anderen Elemente, so sieht man sofort an den Grenzen dieser Flüssigkeit sich zwei entgegengesetzte Pole der Säule bilden, oder das Elektrometer hier eine verstärkte Spannung zeigen, gleich als ob keine vollkommene Schließung der Säule stattfände. In der That erhellt, daß die entgegengesetzten Elektricitäten, wenn sie sich durch die übrigen Glieder der Säule schneller entwickeln und bewegen können, als sie sich durch den unterbrechenden feuchten Leiter hindurch zu neutralisiren vermögen, an seinen Grenzen in gewissem Grade anhäufen und so mehr oder weniger die Erscheinungen der ungeschlossenen Kette darstellen müssen. Daher bemerkt man denn auch stets und allgemein, daß in demselben Grade, als die Phänomene, welche von Einwirkung einer ungehinderten Strömung der Elektr. abhängen, an Intensität zunehmen, in demselben Grade die elektroskopischen Erscheinungen verschwinden und umgekehrt, so daß man sagen kann: was für die eine dieser Wirkungen verloren gehe, werde zum Vortheil der anderen verwandt.

Bei der Nachweisung dieser Umstände leitet man am besten die Leitungsdrähte der Pole einer Säule in eine Glasröhre, in welcher sowohl die Entfernung, in der die Spitzen der Drähte von einander ab-

Digitized by Google

stehen, als auch die Beschaffenheit der Flüssigkeit, in welcher die Drähte tauchen, geändert werden kann. Erman leitete z. B. zwei Platindrähte, welche an den Polen einer Säule von 200 Plattenpaaren befestigt waren, in eine Glasröhre, so daß die Spitzen der Drähte in der Röhre 6 Zoll von einander abstanden. An jeden Draht wurde ein sehr feines und sicheres Blattgold-Elektrometer angebracht. Die Gasbildung, von der als einer Wirkung der strömenden Elektr. später die Rede sein wird, war wenig lebhaft, und die Elektrometer behielten beinahe die völlige Divergenz, die sie bei ganz ungeschlossener Säule gehabt hatten. Nun tröpfelte Erman durch Tubulaturen, mit welchen die Röhre versehen war, eine sehr geringe Menge einer schwachen Kochsalzauflösung in die Röhre, wodurch das Leitungsvermögen des Wassers erhöht wurde. In dem nämlichen Augenblicke hörte die Divergenz in beiden Elektrometern beinahe so gänzlich auf, als wäre von Pol zu Pol eine Metallleitung angebracht worden, und zugleich fingen die Platindrähte an, mit mehr als sechsfacher Heftigkeit ihre Gasarten zu geben.

Bei jeder unvollkommen geschlossenen Säule, welche freie Elektr. an ihren Polen zeigt, erstreckt sich diese Elektr. von jedem Pole eine gewisse Strecke weit mit abnehmender Stärke in den unvollkommen schließenden feuchten Leiter. In der Mitte hat daher der Leiter weder positive noch negative Elektr. Fechner bemerkt, daß man sich wohl hüten müsse, diese freie Elektr., welche mit der freien Elektr. der Pole selbst gleichen Ursprung hat, mit derjenigen gleich zu achten, welche die Erscheinung in der Strömung bewirkt, da diese für das Elektrometer wegen ihrer in jedem Augenblick erfolgenden Neutralisation gänzlich verschwindet. Nach Volta kann man die Ladung des unvollkommen schließenden feuchten Leiters durch die Pole der Säule auf folgende Weise darthun. Man setze die beiden Pole einer hinlänglich großen mit Salzwasser geschichteten Voltaschen Säule durch einen langen mit reinem Wasser, welches nur ein schlechtes Leitungsvermögen besitzt, getränkten Papierstreifen in Verbindung, und berühre einige Zeit, nachdem diese Verbindung hergestellt worden ist, den Streifen successiv an verschiedenen Stellen mit einem condensirenden Elektroskop. Man wird finden, daß, wenn beide Pole der Säule isolirt sind, jede Hälfte des Streifens sich mit der Art Elektr. geladen hat, welche dem Pole, mit dem sie zunächst in Verbindung steht, zugehört; die eine Hälfte zeigt sich positiv, die andere negativ, und die Intensität dieser Ladungen nimmt von jedem Pole bis zur Mitte des Streifens ab, welche sich in neutralem Zustande befindet, wenigstens unter der Voraussetzung, daß das Leitungsvermögen in der ganzen Länge des Streifens gleich ist. Erleichtert man aber das Ausströmen der Elektr. an einer Hälfte vorzugsweis vor der anderen, indem man z. B. einige Tropfen einer Salzauflösung, welche besser als reines Wasser leitet, darauf bringt, so wird die elektrische Ladung dieser Hälfte in gleichen Abständen vom Pole stärker sein, als die der andern, und der neutrale Punkt sich mehr dem entgegengesetzten Pole nähern. Steht die Säule, anstatt an beiden Polen isolirt zu sein, durch einen ihrer Pole mit dem Boden in Verbindung, so fällt der neutrale Punkt an diesen Pol selbst und der ganze

übrige Theil des Streifens zeigt mit einer nach dem isolirten Pol hin progressiv zunehmenden Stärke der Ladung bloß die Elektr., die dieser besitzt. Die elektroskopische Kraft jeder einfachen und zusammengesetzten Kette drückt Ohm durch eine allgemeine Formel aus: Wenn man die elektroskopische Kraft irgend eines Punktes der Kette und das Verhältniß kennt, in welchem das Leitungsvermögen der ganzen Kette zum Leitungsvermögen desjenigen Theils der Kette steht, welcher enthalten ist zwischen dem Punkt von bekannter elektroskopischen Kraft und dem Punkt, dessen Kraft man sucht, so wird letztere Kraft gefunden, wenn man die Zahl der wirksamen Plattenpaare der ganzen Kette mit jenem Verhältniß der Leitungsvermögen multiplicirt, die elektroskopische Kraft des ersten Punkts zum Product addirt und die Zahl der Plattenpaare, die in der zwischen beiden Punkten enthaltenen Strecke enthalten sind, abzieht.

Nach dem S. 480 angenommenen Satze ist die an der Kette auftretende Elektr. allein eine Folge der Berührung heterogener Metalle mit einander, und die Flüssigkeiten wirken nicht erregend, sondern nur leitend. Hiernach muß man annehmen, daß, welcher Flüssigkeit man auch bei Herstellung einer Kette sich bedienen möge, die Eigenschaft der Elektr., ob positiv oder negativ, allein durch das elektromotorische Verhältniß der beiden Metalle bestimmt werden müsse, so also, daß, wenn z. B. von den beiden Metallen A und B, A positiv und B negativ elektrisch bei der Berührung mit einander wird, dieses Verhältniß stets dasselbe bleiben müsse, was für eine Flüssigkeit auch bei Herstellung einer Kette mit diesen Metallen zusammengebracht werden mag. Dieses ist jedoch nicht durchgängig der Fall, vielmehr gibt es Metalle, welche, wenn man sie mit einer gewissen Flüssigkeit zusammenbringt, ihr bei anderen Flüssigkeiten gewöhnliches elektromotorisches Verhältniß umkehren, so also, daß, wenn B negativ und A positiv elektrisch wird, bei Anwendung einer bestimmten Flüssigkeit A neg. und B pos. elektrisch wird. Hieraus nun könnte man auf eine eigenthümliche elektromotorische Wirkung der Flüssigkeiten selbst schließen; jedoch hat Fechner durch eine Reihe sorgfältig angestellter Versuche dargethan, daß in allen den Fällen, in welchen eine Umkehrung des elektromotorischen Verhältnisses stattfindet, die dabei angewendete Flüssigkeit die Oberfläche der Metalle verändere, so daß die Metalle zu einander ihr elektromotorisches Verhältniß ändern, ohne daß angenommen werden dürfe, daß die Flüssigkeiten in Berührung mit den Metallen selbst Elektr. erregten. Folgende Beobachtung gibt ein Beispiel der eben angeführten Erscheinungen. Wenn man eine Säule aus Eisen und Kupfer mit gewöhnlichen Salz- oder Säurenauflösungen auf gewöhnliche Art schichtet, so ergibt sich aus dem elektrom. Verhältniß des Eisens zum Kupfer, daß das Eisen den positiven und das Kupfer den negativen Pol der Säule bilden muß, und dieß findet sich durch die Erfahrung bestätigt. Man schichte aber jetzt die Säule anstatt mit einer der genannten Auflösungen mit concentrirter Schwefelleberlösung, so wird umgekehrt der posit. Pol auf die Seite des Kupfers, der negat. auf die Seite des Eisens fallen. Dasselbe Ergebniß erhält man, wenn man statt Kupfer Silber

Digitized by Google

nimmt, oder statt Eisen Wismuth. Am leichtesten läßt sich die Umkehrung der Polarität durch gewisse Flüssigkeiten mittelst des Multiplicators nachweisen. *) Zu dem Zwecke wird Eisen und Kupfer mit den Enden eines Multiplicatordrahtes verbunden und erst in eine saure oder in eine Salzauflösung, dann, nachdem es gereinigt worden, in concentrirte Schwefelleberlösung getaucht; während im ersten Falle die Ablenkung der Magnetnadel des Multiplicators den Strom der pos. Elektr. vom Eisen zum Kupfer anzeigt, wird von ihr im zweiten Falle der Strom vom Kupfer zum Eisen angedeutet werden.

Zuerst hat Avogrado beobachtet, daß gewisse Ketten, welche aus zwei Metallen und einem flüssigen Leiter zusammengesetzt sind, während die Kette geschlossen ist, ihre Pole verwechseln. So beobachtete er namentlich, daß Blei und Wismuth, oder Blei und Zinn, oder Eisen und Wismuth, oder Kobalt und Antimon, wenn man sie in concentrirte Salpetersäure taucht, anfangs (durch Ablenkung der Magnetnadel des Multiplicators) eine entgegengesetzte Polarität von derjenigen zeigten, welche sie einige Augenblicke nachher hatten. Derselbe bemerkte auch, daß diese Umkehrung der Pole nicht in verdünnter Salpetersäure stattfinde, und daß im ersten Augenblicke des Eintauchens in concentrirte Säure dieselbe Wirkung stattfindet, welche man in verdünnter Säure bleibend beobachtet. Hier also ist eine erste (primäre) Wirkung der Säure von einer zweiten (secundären) der ersten entgegengesetzten Wirkung zu unterscheiden. Diese Umkehrungen nun zeigen deutlich an, daß durch die Flüssigkeit eine Veränderung der metallischen Oberflächen stattfindet, so daß nun das eine Metall zum positiven, das andere zum negativen Gliede des Elektromotors wird, während früher das umgekehrte Verhältniß stattfand. Wenn nun auch Fälle wie die oben angegebenen vorkommen, wo gleich beim Einsenken in die Schwefelleberlösung eine der gewöhnlichen entgegengesetzte Polarität eintrat, so muß man nach den zuletzt angegebenen Erscheinungen annehmen, daß die Schwefelleberlösung die Oberflächen der Metalle, welche in sie eingesenkt werden, so schnell verändere, daß anstatt des primären elektromot. Verhältnisses derselben (der unveränderten) sogleich das secundäre der veränderten Metalle erscheine. Daß dem wirklich so sei, hat Fechner durch seine Versuche näher nachgewiesen.

Zuerst zeigte derselbe nach, daß, während beim Eintauchen einer Combination von Eisen und Kupfer (an den Enden des Multiplicatordrahtes) in concentrirte Schwefelleberlösung das Kupfer sogleich und dauernd den positiven Pol bildet, es dagegen in einer sehr stark verdünnten Lösung dauernd den negativen Pol wie in sauren und salzigen Lösungen darstellt, und daß es zwischen dem höchsten Concentrationsgrade und der sehr starken Verdünnung sehr ausgedehnte Verdünnungsgrade der Schwefelleberlösung gibt, bei denen in den ersten Momenten nach dem Eintauchen der durch die Ablenkung der Magnetnadel angezeigte elektrische Zustand des Kupfers der negative ist, aber allmählig oder durch einen plötzlichen Uebersprung in den entgegengesetzten positiven

*) S. d. Art. Multiplicator.

übergeht, während sich zugleich die Oberfläche des Kupfers immer mehr schwärzt. Dieser Uebergang erfolgt um so schneller, je näher die Schwefelleberlösung dem Concentrationsgrade kommt, bei welchem sogleich positive Ablenkung des Kupfers erfolgen würde, und öfters sieht man die Nadel nach einem einzigen Zuck auf die negative Seite hin sofort und dauernd auf die positive übergehen. Diese Umkehrungen erfolgen übrigens eben sowohl während ungeschlossener Kette, d. h. taucht man eine Eisen- oder Kupferplatte, ohne sie durch den Multiplicator oder sonst metallisch unter sich in Verbindung zu setzen, in eine Schwefelleberlösung von solcher Concentration, daß nach einiger Zeit das Kupfer positiv darin erscheinen würde, wenn man es mit dem Eisen zugleich an den Enden des Multiplicatordrahtes eintauchte, so wird sich wirklich diese umgekehrte Wirkung sofort zeigen, wenn man einige Zeit nach dem Eintauchen die Platte mit dem Multiplicator in Verbindung setzt. Hieraus geht hervor, daß in den angegebenen Fällen eine augenblickliche Umkehrung der Polarität nur darum eintritt, weil auch die Veränderung der Metalle durch die Flüssigkeit eine fast augenblickliche ist.

Man könnte meinen, daß vielleicht nicht sowohl eine Veränderung der Metalle als vielmehr eine Veränderung der Flüssigkeit stattfände. Dieses aber widerlegen die Umstände. Erstens erfolgt die Umkehrung gleich gut, man mag das Eintauchen der Platten in kleinen oder in großen Mengen Flüssigkeit vornehmen, auf deren letztere eine etwaige Veränderung durch die Metalle von keinem wahrnehmbaren Einflusse sein könnte; zweitens, wenn man in dieselbe Flüssigkeit, in welcher die Umkehrung erfolgt war, zwei frische Platten von Eisen und Kupfer taucht, so erscheint wiederum erst die primäre Ablenkung, welcher erst einige Zeit nachher die secundäre Ablenkung folgt.

Endlich hat Fechner noch durch Versuche dargethan, daß die Metalle in den Fällen, wo Umkehrung der Polarität stattfindet, wirklich so verändert werden, daß sie auch bei nachheriger Anwendung einer Flüssigkeit, in der sie sonst die gewöhnliche Polarität gezeigt haben würden, wenn sie mit frischer Oberfläche hineingebracht worden wären, noch das umgekehrte Verhältniß behaupten. Man lege eine Eisenplatte und eine Kupferplatte, an den Platinenden des Multiplicatordrahtes befestigt, auf den flachen Boden eines etwas größeren gläsernen Gefäßes, so daß sie einander nicht berühren, und übergieße sie mit concentrirter Schwefelleberlösung, so daß sie ganz davon bedeckt werden. Sofort wird eine Ablenkung erfolgen, welche einen posit. elektr. Zustand des Kupfers anzeigt. Nun gieße man soviel Wasser zu, daß, wenn man in diese Flüssigkeit eine frische Eisen- und Kupferplatte taucht, das Kupfer nicht nur anfangs, sondern bleibend negat. elektrisch ist, dessen ungeachtet wird das Kupfer des ersten Elektromotors nach wie vor posit. elektr. bleiben, wenn die Elektr. gleich dem Grade nach geschwächt erscheint.

Hat man ferner eine Eisen- und eine Kupferplatte, deren Verbindung durch den Multiplicatordraht hergestellt ist, in Schwefelleberlösung von solcher Concentration eingesenkt, daß die secundäre Wirkung gleich anfangs oder nach einiger Zeit durch Umkehrung darin erscheint, und taucht sie dann aus dieser Lösung schnell (ehe eine aufhebende Wir-

Digitized by Google

kung der Luft erfolgt ist) in reines, gesalzenes oder gesäuertes Wasser, so erfolgt gewöhnlich in den ersten Augenblicken nach der Einsenkung noch die secundäre Wirkung, welche in der Schwefelleberlösung stattfand. Erst nachdem durch die zweite Flüssigkeit (je stärker sie ist, desto eher) die Wirkung der Schwefelleberlösung aufgehoben worden ist, tritt die primäre Wirkung, die gewöhnliche Polarität wieder auf. Umgekehrt, wenn man eine Eisen- und Kupferplatte aus gesalzenem oder gesäuertem Wasser in eine Schwefelleberlösung von solcher Concentration bringt, daß die secundäre Wirkung darin an sich gleich anfangs oder sehr schnell eingetreten sein würde, so wird man doch, wenn die chemische Wirksamkeit des gesäuerten oder gesalzenen Wassers im Verhältniß zum Concentrationsgrade der Schwefelleberlösung hinlänglich groß ist, eine Zeitlang noch die primäre Wirkung, wie sie im Wasser stattfand, in der Schwefelleberlösung fortdauern sehen, um sich erst nach einiger Zeit in die secundäre umzukehren, ein Beweis, daß gesalzenes oder gesäuertes Wasser eine Modification entgegengesetzter Art an den Platten hervorgebracht hatte, als die Schwefelleberlösung daran hervorzubringen strebt. Indeß vermag auch schon die Luft die Modification aufzuheben, welche die Schwefelleberlösung an den Platten hervorgebracht hatte, und der gemäß ihr elektromotorisches Verhältniß sich umkehrte; doch wird diese Modification um so später von der Luft zerstört, je stärker die Schwefelleberlösung war, welche sie hervorbrachte.

Die Versuche beweisen, daß die Umänderung der Metalle, welche durch die Schwefelleberlösung erfolgt, namentlich im Kupfer erfolgt. Zieht man von Kupfer und Eisen, deren Wirkung sich in einer Schwefelleberlösung vom gehörigen Verdünnungsgrade aus der anfangs primären in die secundäre umgekehrt hat, das Eisen heraus, während das Kupfer darin bleibt, und taucht eine frische Eisenplatte hinein, so bleibt die secundäre Wirkung nach wie vor und scheint sich eher etwas zu verstärken; verfährt man aber umgekehrt, indem man nämlich bloß die Kupferplatte mit einer frischen vertauscht, so ist sofort die primäre negative Ablenkung des Kupfers anfangs wieder da, um sich erst nach einiger Zeit wieder in die positive umzukehren.

So wie bei Eisen und Kupfer in Schwefelleberlösung, so findet auch bei anderen Metallen in dieser und in anderen Flüssigkeiten eine Umkehrung der Polarität statt, welche sogleich bei der Einsenkung wahrgenommen wird, wenn die Flüssigkeit hinlänglich concentrirt ist. Auch in Bezug auf diese Flüssigkeiten und Metalle hat Fechner Versuche angestellt und im Allgemeinen den oben angeführten ähnliche Resultate erhalten. Derselbe gibt folgende Fälle an, wo nach seinen Erfahrungen beim Eintauchen in concentrirte Lösung sogleich eine der gewöhnlichen entgegengesetzte Polarität der Metalle entsteht, wo jedoch bei einem gewissen Verdünnungsgrade der Lösung eine Avogradosche Umkehrung erfolgt, d. h. wo zuerst die gewöhnliche nachher die entgegengesetzte Polarität auftritt.

Concentrirte Schwefelleberlösung.

Silber, so wie Kupfer positiv gegen Blei, Zinn, Eisen, Antimon (Kupfer positiv gegen Silber).

Digitized by Google

Zinn positiv gegen Blei
Antimon = = Eisen } unbedeutend.
Wismuth = = Eisen

Rauchende Salpetersäure.

Eisen negativ gegen Antimon, Wismuth, Kupfer, Silber (positiv gegen Gold und Platin)
Blei = = Zinn
Wismuth = = Kupfer
Antimon = = Kupfer

Nordhäuser Vitriolöl.

Wismuth positiv gegen Antimon. (Mit Zinn und Zink erfolgte schon ohne Verdünnung der Säure eine Avogradosche Umkehrung.)

Rauchende Salzsäure.

Wismuth positiv gegen Antimon.
Kupfer = = Antimon.
(Mit Wismuth und Kupfer erfolgte schon ohne Verdünnung eine Avogradosche Umkehrung.)

Gesättigte Salmiaklösung.

Eisen positiv gegen Zinn.
Kupfer = = Wismuth.
(Blei gab mit Eisen eine Avogradosche Umkehrung.)

Conc. käufliche Kupfervitriolauflösung.
(säuerlich reagirend.)

Zinn positiv gegen Blei.
Eisen = = Blei.
Wismuth = = Antimon.
Kupfer = = Antimon.
(Zinn gab mit Eisen schnell eine Avogradosche Umkehrung.)

Neutrale und saure salpeters. Silberauflösung.

Eisen positiv gegen Silber.

Conc. Aufl. von Kleesäure oder Weinsteinsäure.

Zinn positiv gegen Blei.

Nach de la Rive verhält sich Zinn sowohl als Eisen positiv gegen Kupfer in Ammoniakflüssigkeit; Kohle war stark positiv gegen Platin in kalter, noch mehr in bis 100° oder 150° C. erhitzter concentr. Schwefelsäure, noch stärker negativ aber gegen das nämliche Metall in etwas erhitztem Königswasser; Eisen stark positiv gegen Arsenik in verdünnter Säure, negativ in Kali, welches mittelst ziemlich starker Lampenhitze geschmolzen wird. Nach Davy verhält sich Zinn posit. gegen Blei in conc. Alkalilösungen, Eisen pos. gegen Kupfer.

Besonders bemerkenswerth ist noch ein Umstand, welchen Oersted

bei Wismuth mit Blei beobachtet hat. Derselbe fand nämlich, und nach ihm auch Fechner, daß die in der rauchenden Salpetersäure anfangs pos. Ablenkung des Bleies *) bald in die neg., nachher aber wieder zurück in die pos. übergeht, welche alsdann bleibend ist, und daß die Metalle, wenn sie nach ihrer Rückumkehrung in erneuerte Salpetersäure ohne vorherige Erneuerung der Oberfläche getaucht werden, dann keine neue Umkehrung zeigen, vielmehr die posit. Ablenkung des Bleies sodann bleibend ist. Aehnliche Fälle bei anderen Combinationen hat zwar Fechner beobachtet, im Allgemeinen aber gefunden, daß die secundäre Wirkung nicht wieder in die ursprüngliche Ablenkung zurückgeht.

Die in dem Vorhergehenden erwähnten Ketten führen den Namen hydroelektrischer, weil bei ihnen eine Flüssigkeit (griech. ὕδωρ) als Zwischenleiter auftritt. Von dieser unterscheiden sich die thermoelektrischen (v. d. griech. θέρμη Wärme) Ketten, Ketten, bei denen Wirksamkeit eintritt durch ungleichartige Temperatur der Erreger ohne Zwischenwirkung einer Flüssigkeit. Seebeck hat nämlich die Entdeckung gemacht, daß jede geschlossene Kette aus zwei Metallen zur wirksamen wird ohne alle Zwischenwirkung einer Flüssigkeit, sobald die zwei Berührungsstellen derselben auf eine verschiedene Temperatur gebracht werden. Der Seebeck'sche Grundversuch ist folgender:

Man löthe eine Wismuthstange a W b (Fig. 177.) mit einem gebogenen Streifen starken Kupferblechs a K K b zusammen; hierdurch erhält man eine Kette, welche schon durch die Wärme der Hand oder der Fingerspitzen, womit man eine der gelötheten Stellen a oder b berührt, eine solche Kraft erhält, daß eine zwischen K und W gebrachte Magnetnadel zu einer Abweichung von 10° bis 15° gebracht wird. Diese Abweichungen steigen bis 50°, 60° ja 70°, wenn man einige Augenblicke lang die Wärme der Flamme einer Spirituslampe auf eine der gelötheten Stellen wirken läßt, und je nachdem dieß bei a oder b geschieht, wird die Magnetnadel östliche oder westliche Ablenkung zeigen. Eben so kann man dergleichen Ablenkungen hervorbringen, wenn man die eine der Löthstellen mit Eis belegt, während man die andere auf gewöhnlicher Temperatur läßt; die größte Wirksamkeit aber wird die Kette dann erlangen, wenn man die eine Löthstelle erhitzt, während man zugleich die andere erkältet. In diesen Fällen geht die Ablenkung der Magnetnadel nach der Richtung vor sich, als wenn die Elektricitätserregung am kälteren Berührungspunkte überwöge oder von hier aus die Entwickelung der Elektr. vor sich ginge; bei Combinationen von anderen Metallen geht dagegen die Strömung von der erwärmten Stelle aus. Die eigentliche Ursache der Elektricitätserregung ist hierbei nicht sowohl die Wärme selbst, als vielmehr die Temperaturdifferenz der beiden Berührungsstellen, wie dieses aus dem Umstande hervorgeht, daß, wenn man die eine Berührungsstelle erwärmt, die dadurch hervorgebrachte Ablenkung der Nadel beobachtet hat, und nun auch die andere

*) D. h. eine Ablenkung der Multiplicatornadel, welche einen positiv elektr. Zustand des Bleies anzeigt.

Digitized by Google

Berührungsstelle erwärmt, die Ablenkung der Magnetnadel geringer wird und endlich, sobald die Erwärmung beider Stellen gleich geworden, auf Null herabgeht. Fährt man aber fort, die zweite Stelle zu erwärmen, so tritt auch wieder, sobald als ihre Temperatur die der ersten Stelle zu übersteigen beginnt, Ablenkung der Magnetnadel ein, aber nun nach entgegengesetzter Richtung.

Um einen thermoelektrischen Strom hervorzubringen ist nöthig, daß eine ununterbrochene metallische Continuität des Bogens stattfinde. Wird ein Blatt Papier, ein Goldschlägerhäutchen oder eine mit Wasser benetzte Pappscheibe zwischen die Metalle am kalten Berührungspunkte geschoben, so ist damit alle Wirksamkeit aufgehoben. Dagegen ist die Wirkung um so größer, je vollkommener die metallische Continuität ist, größer daher, wenn die Metalle an einander geschmolzen sind, als wenn sie nur äußerlich in Berührung stehen. So wie Kupfer und Wismuth in dem angegebenen Falle verhalten sich in Bezug auf die Magnetnadel jede zwei andere Metalle, doch ist die Stärke der Wirkung nach Beschaffenheit der Metalle verschieden.

Da man bei den thermoelektr. Ketten bis jetzt fast allein die Wirkung auf die Magnetnadel zur Wahrnehmung gebracht hat, so werden sie auch thermomagnetische Ketten genannt.

Seebeck hat die nachstehende thermoelektr. Spannungsreihe aufgestellt. Fechner bemerkt in Bezug auf dieselbe Folgendes: Man kann die Metalle je zwei und zwei zusammengefügt in zwei Klassen theilen, indem bei den einen, wie bei Zink mit Wismuth, Zink mit Silber, Antimon mit Silber u. s. w. der Strom von der erwärmten, bei den anderen, wie bei Wismuth und Kupfer, Blei und Silber u. s. w. von der erkälteten Berührungsstelle ausgeht, wobei das Verhältniß der Metalle zu einander wie in der gewöhnlichen galvanischen Spannungsreihe angenommen wird. Wollten wir jedoch, was für die Einheit der Betrachtung im Gebiet der thermoelektr. Erscheinungen nicht unvortheilhaft ist, den Ausgangspunkt des Stromes stets bei der wärmeren Stelle annehmen, so würden wir, um die beobachtete Richtung der Ablenkung der Nadel zu erklären, zugleich annehmen müssen, daß in den Fällen, wo er, wie bei Wismuth und Kupfer, nach ihrem Verhältniß in der galvanischen Spannungsreihe betrachtet, thatsächlich von der kälteren Stelle ausgeht, hier durch die Temperaturdifferenz eine Umkehrung dieses Verhältnisses stattgefunden habe, und unter dieser Voraussetzung würde sich für die thermoelektr. Erscheinungen eine andere Reihe der Metalle ergeben, als diejenige, die wir unter dem Namen der galvanischen Spannungsreihe kennen. Da sich unter letzterer Annahme die Richtung der Ablenkung, welche einer Magnetnadel durch je zwei combinirte Metalle ertheilt werden muß, leichter übersehen läßt, so wollen wir sie bei Aufstellung der thermoelektr. Reihe zu Grunde legen, in welcher jedes Metall posit. mit dem ihm in der Reihe folgenden, negat. mit dem in der Reihe vorstehenden wird, unter der Annahme, daß die Erregungsstelle des Stroms stets an der wärmeren Stelle ist. Wollten wir, was wir eben so gut könnten, da überhaupt hier nur eine Fiction

Digitized by Google

zu Grunde liegt, annehmen, daß sie stets an der kälteren sei, so würde natürlich die Reihe grade die umgekehrte Richtung haben müssen.

Positives Ende der Reihe.

1) Tellur,[1] ein Korn, von Bergemann aus dem Oxyd reducirt.
2) Antimon,[2] a) von H. Rose;
   b) reines von Bergemann;
   c) wie es im Handel vorkommt.
3) Arsenik,[3] sublimirtes, ganz reines.
4) Eisen,[4] a) chemisch reines von Berzelius;
   b) von den besten in Berlin im Handel vorkommenden Stangen und Blechen.
5) Stahl,[5] mehrere Stücke englischen und deutschen Guß- und Cämentstahls.
6) Cadmium,[6] a) von Stromeyer;
   b) von Bergemann.
7) Platin,[7] No. 1. a) ein Löffel; b) ein Spatel; c) der Deckel eines Platintiegels.
8) Wolfram, aus einem Oxyd mit Kohle reducirt von Poggendorff.
9) Kupfer[8] No. 1. Cämentkupfer, a) mit Zink, b) mit Eisen aus Kupfervitriol reducirt.

---

[1]) Das gediegene Tellur nimmt eine gleiche Stelle mit dem von Bergemann reducirten ein, obgleich das erstere nach Berzelius eine beträchtliche Quantität Selen enthält, das letztere aber frei davon ist.

[2]) Zwischen Antimon und Stabeisen liegt blättriger Magnetkies von Bodenmais, silberhaltiger Wismuthspiegel von Deutsch-Pilsen. Ueber Antimon liegen Kupferglanz, Buntkupfererz.

[3]) Zwischen Arsenik und Stahl steht das Aachner gediegene Eisen, das Meteoreisen von Collina di Brianza bei Villa in Mailand, unächtes gediegenes Eisen von Groß-Kamsdorf und das gediegene Eisen aus der Grafschaft Sayn-Altenkirchen.

[4]) Alle Arten von Roheisen nehmen eine tiefere Stelle in der Reihe ein, als das Stabeisen. Allein nicht alle Flächen der Bruchstücke eines Roheisenflosses verhalten sich gleich in der Wirkung.

[5]) Englischer Graphit stand zwischen Stahl und Zink.

[6]) Zwischen Cadmium und Platin steht das gediegene Eisen von New-Jersey.

[7]) Ein großes 4 Loth schweres Korn von Platin aus New-Granada, so wie alles größere Platingeschiebe von Santa Fé und Choco steht in der Reihe bei Platin No. 1. Rohes Platin mit Arsenik zusammengeschmolzen und von letzterem ungefähr 9½ pr. Ct. enthaltend, steht noch höher als Platin No. 1.

[8]) Alles gediegene Kupfer nimmt mit dem künstlich erzeugten Cämentkupfer gleiche Stelle ein. Uebrigens behält das durch Eisen aus Kupfervitriol hergestellte Cämentkupfer die Stelle zwischen Zink und Platin No. 1 nur so

Digitized by Google

10) Zink, a) gereinigtes von Bergemann; b) schlesisches, wie es in Handel gebracht wird.
11) Silber, a) aus Chlorsilber reducirt von Fermbstädt; b) Kapellensilber in Stangen.
12) Gold, No. 1. a) aus dem Oxyd reducirt durch Frick;
b) durch Antimon gereinigt in der Fabrik von Henfel und Schumann.
13) Iridium, von Barruel.
14) Rhodium, a) von Barruel; b) von Wollaston.
15) Kupfer, [9]) No. 2; in Berlin im Handel vorkommend, nach H. Rose weder Silber, Eisen, Blei noch Schwefel enthaltend.
16) Molybdän, von Barruel.
17) Chrom, ein kleines von Bergemann reducirtes Korn von stahlgrauer Härte.
18) Platin, No. 2.; eine Stange 1802 von Jeannetty erstanden.
19) Zinn, a) böhmisches; b) englisches.
20) Blei, a) reines von Karsten; b) käufliches.
21) Queckfilber, vom reinsten, im Handel vorkommenden.
22) Platin, No. 3.; ein kleines geschm. Stück unbekannten Ursp.
23) Messing, No. 1.
24) Kupfer, No. 3.; a) geschmolzenes von Neustadt-Eberswalde;
α) welches über die Hammergare hinausgetrieben war;
β) welches noch nicht hammergar war;
γ) welches die Hammergare hatte;
b) in Berlin im Handel vorkommend, nach Rose weder Silber, Eisen, Blei noch Schwefel haltend.
25) Gold, No. 2.; eine Stange von ungarischem Ducatengolde, nach Rose 90,00 Gold, 6,6 Silber und 4,3 Kupfer und Eisen haltend.
26) Messing, No. 2.
27) Titan, aus Eisenschlacken von der Königshütte in Oberschlesien ausgeschieden, von Karsten.
28) Mangan, a) reducirt von Barruel; b) von Poggendorff.
29) Kupfer, No. 4.; zwei zu verschiedenen Zeiten von Bergemann aus reinem Oxyd mit schwarzem Fluß reducirte Körner.
30) Uran, von Bergemann, Eisen enthaltend.
31) Platin, No. 4.; [10]) a) ein Tiegel aus Klaproths Laborato-

---

lange, als es in der ursprünglichen Form, wie es reducirt worden, bleibt. Wird es im Thontiegel für sich, ohne Zusatz irgend eines Flußmittels, geschmolzen, so tritt es nach dem Erkalten genau in die Stelle des Kupfers No. 2, mit welchem auch die oktaedrischen und pyramidalen Garkupferkrystalle gleiche Stelle einnehmen.

[9]) Zwischen Kupfer No. 2 und Zinn steht das gebirgene Eisen von Groß-Kamsdorf.

[10]) Mit Platin No. 4 nimmt gleiche Stelle ein das Platin vom Cerro di Frio

Digitized by Google

rium; b) reines, mehre Stücke von Bergemann, Frick, Jeannetty, Wollaston gereinigt.
32) Palladium; a) von Barruel; b) von Wollaston.
33) Kobalt; a) von Barruel; b) von Bergemann; c) von Hermbstädt, nicht ganz frei von Eisen.
34) Nickel; a) von Frick aus reinem Oxyde hergestellt; b) von Richter dargestellt.
35) Wismuth; [11]) a) wie es in Berlin im Handel vorkommt; b) aus reinem Oxyd von Rose reducirt.

Diese Reihe gilt unter den oben angeführten Voraussetzungen, doch kann man leicht erfahren, wann für die richtigere Voraussetzung der Strom von der wärmeren Stelle und wann er von der kälteren ausgeht. Folgen nämlich die in einem bestimmten Falle combinirten Metalle so in der thermoelektr. Reihe wie in der galvanischen Spannungsreihe, d. h. ist das eine von den beiden Metallen hier und dort das dem positiven Ende der Reihe näher stehende, so geht der Strom von der wärmeren Stelle aus; ist dagegen die Folge der beiden combinirten Metalle in der galvanischen umgekehrt wie in der thermoelektr. Spannungsreihe, so geht der Strom von der kälteren Stelle aus.

Die angegebene thermoelektr. Reihe ist nur bei geringeren Temperaturdifferenzen genau gültig, indem bei höheren Temperaturdifferenzen mehre Metalle ihre Stelle in der Reihe ändern. So fand Seebeck, daß sich die angeführte Reihe bei höheren Temperaturdifferenzen in folgende umänderte:

Positiv.

1. Antimon	5. Kupfer No. 2.
2. Silber	6. Gold No. 1.
3. Zink	7. Kupfer No. 3.
4. Gold No. 1.	8. Kupfer No. 4.

---

in Brasilien, welches nach Wollaston beinahe völlig rein ist. Zwischen Platin No. 4 und Nickel haben ihren Platz die Meteoreisen aus Sibirien, Zacatecas in Mexico, Elnbogen, Agram, Tucuman, Plann bei Tabor (angeblich) Gouv. Minsk, Elbenstock, New-Orleans, Tocavita bei Bogota, die im Frischfeuer gewesene Bitburger Masse. — Von den meisten dieser Meteoreisen ist bekannt, daß sie Nickel enthalten, und dieses scheint also vorzüglich dazu beizutragen, dem Eisen eine so tiefe Stelle in der Reihe zu geben. Von den gediegenen Arten stehen die unreinern Arten tiefer, die reinern höher in der Reihe. — Außerdem liegen noch zwischen Platin No. 4 und Nickel Kobaltnickelglanzerz, Kupferkies, Nickel, Antimon, Eisenglanz.

[11]) Unter den Erzen fällt der Bleiglanz noch unter Wismuth. — Zwischen Wismuth und Nickel liegen: Schwefelkies, Arsenikkies, weißer und grauer Speiskobalt, Wismuthspiegel, Magneteisenstein. — Durch Schmelzung bereitete Verbindungen von Wismuth und Schwefel in verschiedenen Verhältnissen zeigten sich beinahe dem reinen Wismuth gleich.

Digitized by Google

9. Messing No. 2.
10. Stabeisen
11. Stahl
12. Zinn
13. Blei
14. Platin No. 1.
15. Platin No. 1.
16. Platin No. 4.
17. Palladium.
18. Nickel-Legirung.
19. Wismuth.

Außer den in ihren Resultaten eben angeführten Versuchen hat Seebeck noch eine große Anzahl von Versuchen über die thermoelektr. Reihe vieler Legirungen angestellt, welche ich indeß glaube übergehen zu dürfen.

Nach Seebeck's Versuchen reicht eine sehr geringe Heterogeneität zweier Metallstücke hin, bei ihrer Verbindung und ungleichen Erwärmung Elektr. zu erregen. Nicht nur erschienen die Zeichen einer elektr. Strömung bei den S. 519 f. angeführten Platin-, Gold- und Kupfer-Sorten, wenn ihrer zwei von gleichnamiger Art in Form von Stangen oder Blechstreifen verbunden waren, wo dann schon eine mäßige Erwärmung eines der Berührungspunkte eine nicht unbeträchtliche Strömung erregte, sondern in den meisten dieser Metalle entstand eine solche auch dann, als sie nur einfache und durchaus gleichartige Kreise bildeten, sofern ein Theil derselben in der Temperatur erhöhet oder erniedrigt war. Am stärksten war in einfachen Metallkreisen die Strömung, wenn ein Theil derselben im glühenden oder fließenden Zustande sich befand, und wenn die Enden des die Magnetnadel umgebenden gleichartigen Metallbogens wechselsweise in den fließenden Theil eingetaucht wurden oder wenn ein Ende eines nicht oxydirbaren Metallbogens glühend mit dem anderen kalten Ende desselben in Berührung gebracht ward. In allen Fällen, wo solche Erscheinungen auftreten, hat indeß Seebeck bei genauerer Untersuchung gefunden, daß niemals eine vollkommene Homogeneität der Theile des einfachen Bogens stattfand. Da, wo dieselbe stattfand, konnten auch keine Strömungen erregt werden. Im Allgemeinen findet häufiger in spröden und leichtflüssigen Legirungen als in den dehnbaren und strengflüssigen eine zu Erregung einer Strömung hinlängliche Heterogeneität statt.

Im Allgemeinen haben die Versuche gelehrt, daß die Größe des thermoelektr. Stromes desto bedeutender wird, eine je größere Temperaturdifferenz zwischen den beiden Berührungspunkten stattfindet, ohne daß jedoch diese Größe mit der Temperatur gleichförmig zunimmt. Bei einigen Metallen nimmt sie sogar bei höheren Temperaturdifferenzen wieder ab, bis sie Null wird, und geht bei noch höheren in die entgegengesetzte Strömung über. In einer Kette von Eisen und Kupfer z. B. nach Becquerel wächst, wenn sich anfangs beide Berührungsstellen auf Nullgrad befinden und man successiv die eine erwärmt, von Nullgrad bis 140° C. die Intensität des Stromes für jeden gleichen Temperaturanwuchs um eine gleiche Größe. Von 140° C. an verringert sich die Zunahme ziemlich rasch; bei 300° C. ist sie kaum noch merkbar und bei noch höherer Temperatur erfolgt Umkehrung. Aus einer Reihe ähnlicher Beobachtungen macht Becquerel den Schluß, daß, je höher der Schmelzpunkt eines Metalles liegt, desto länger auch die

Digitized by Google

Anwüchse der Kraft des Stromes denen der Temperatur der einen Löthstelle, während die andere auf 0° bleibt, proportional bleiben. Becquerel hat auch gefunden, daß die Kräfte des Stroms für gleiche Temperaturdifferenzen nicht durchaus dieselben sind, sondern daß die Kraft des Stromes im Allgemeinen eine andere ist, je nachdem dieselbe Temperaturdifferenz in höhere oder niedrigere Temperatur fällt. Wurde z. B. bei einer Kette aus Eisen und Kupfer die eine Löthstelle auf 0°, die andere auf 50° C. gebracht, so daß also eine Temperaturdifferenz von 50 Graden stattfand, und die Stärke des hierbei stattfindenden Stromes = 100 gesetzt, so fand sich, als die eine Löthstelle auf 100°, die andere auf 150° C. gebracht wurde, die Temperatur also wieder 50 Grade aber in einer höheren Temperatur betrug, die Stärke des Stromes = 818.

Verbindet man zwei Metalle zu einem geschlossenen Bogen nicht durch sich selbst, sondern durch ein drittes, wie in (Fig. 178.) Antimon und Wismuth durch Kupfer, und erwärmt nun die Berührungsstelle bei b, so ist die Ablenkung in jedem Fall derselben Art, als wenn das eingeschobene Stück K gar nicht vorhanden wäre, d. h. als wenn A und W auch in a und c zusammenkämen, oder vielmehr K äußert hierbei zwar einen Einfluß, aber nur dadurch, daß es den Weg verlängert, den der Strom zu durchlaufen hat, welches, wie wir weiterhin sehen werden, die Kraft desselben schwächt, ohne seine Richtung zu ändern. Wird umgekehrt b kalt gelassen, aber a und c erwärmt, so verfolgt der Strom die umgekehrte Richtung von vorhin; die nämliche, die er verfolgen würde, wenn a und c, mit Weglassung von K, zusammenstießen, und hier die Löthstelle erhöht würde.

Bei Anführung dieser Thatsachen bemerkt Fechner, daß diese Fälle ganz dem analog sind, was auch bei hydroelektr. Ketten beobachtet wird, und daß man, um nach dem Verhalten von hydroelektr. Combinationen das der thermoelektr. vorauszusehen, nur die kälteren Berührungsstellen der thermoelektr. Kette allemal denen entsprechend zu setzen braucht, wo in der hydroelektr. feuchte Leiter zwischenliegen, die wärmeren denen, an welchen elektromotorische Wirkung statthat: da bei Aufstellung der thermoelektrischen hierbei zu Grunde zu legenden Reihe die Wirkung allgemein hiervon ausgehend angenommen wurde.

Aus dieser Analogie sieht man auch, daß es möglich sein muß, wirksame vielgliedrige Ketten nach Analogie der Voltaschen Säule zusammenzusetzen, indem man heterogene Metalle, z. B. Wismuth- und Kupferstäbe, in abwechselnder Folge zu einem geschlossenen Kreise zusammenlöthet und die Löthstellen in abwechselnder Folge erhitzt und erkältet. Solche vielgliedrige geschlossene thermoelektr. Ketten wirken wie die einfachen ablenkend auf die Magnetnadel. Fig. 179. zeigt diejenige Anordnung einer zusammengesetzten thermoelektr. Kette, deren sich Fourier und Oersted bedient haben. Dieselbe besteht aus kleinen abwechselnden Stäben von Wismuth und Antimon, von denen die ersteren an einem ihrer Enden mit einem Anhange versehen sind, mittelst dessen man sie in Eis tauchen kann, während allemal die andere Verbindungsstelle durch eine Lampe erhitzt wird. Andere Anordnungen zu-

Digitized by Google

sammengesetzter thermoelektr. Ketten sind in Fig. 181. und 182. abgebildet. Diese haben den Vorzug, daß sie sich leicht zusammenbiegen lassen und daß man bei ihnen, nachdem sie gehörig gebogen sind, eine gemeinschaftliche Erhitzung aller abwechselnden Verbindungsstellen durch eine heiße Stange bewirken kann.

Das Gesetz der galvanischen Spannungsreihe (s. S. 489 d. Art.) gilt, wie Becquerel nachgewiesen hat, auch für die thermoelektr. Ketten; woraus aufs Neue die Identität der Wirksamkeit der hydroelektr. und der thermoelektr. Ketten hervorgeht. Becquerel hat das Gesetz bei einer Temperaturdifferenz von 20° C. (wobei die eine Löthstelle 0° hatte) nachgewiesen, so daß z. B. der elektromotorische Abstand zwischen Eisen und Kupfer gleich ist der Summe der Abstände zwischen Eisen und Platin und Platin und Kupfer. Die Bestätigung des Gesetzes gibt die Vergleichung der Werthe in folgender Tabelle, welche die relativen Intensitäten des thermoelektr. Stromes für verschiedene Metalle, bei einer Temperaturdifferenz von 20° — 0° C. enthält.

Eisen-Zinn	31,24
Kupfer-Platin	8,55
Eisen-Kupfer	27,96
Silber-Kupfer	2
Eisen-Kupfer	26,20
Eisen-Platin	36,07
Kupfer-Zinn	3,50
Zink-Kupfer	1
Silber-Gold	0,50

Fechner führt nachstehende durch die Erfahrung bestätigte Gesetze an, welche die Zunahme der Wirksamkeit mit der Anzahl der in Wirksamkeit gesetzten Elemente betrifft. Dieselben hängen von allgemeinen auch für die hydroelektrischen Ketten geltenden Gesetzen ab, von denen noch die Rede sein wird.

Die Wirksamkeit der thermoelektr. Kette nimmt mit der Anzahl der Glieder oder Elemente, aus denen sie zusammengesetzt wird, zu, wenn die Gesammtkette dabei immer die nämliche Länge behält, welches man dadurch erreicht, daß man die einzelnen metallischen Glieder, in dem Maße als sie vervielfältigt werden, zugleich kürzer nimmt. — Wenn aber jedes Glied immer die nämliche Länge behält, mithin die Länge der ganzen Kette in demselben Grade zunimmt, als die Zahl der Elemente, aus denen sie gebildet wird, so mag man noch so viele Elemente zusammensetzen, so wird die Wirksamkeit der Kette immer die nämliche bleiben, als wenn die Kette nur aus einem einzigen, durch zwei solche Glieder zusammengesetzten Elemente bestände; oder mit andern Worten, Elemente von gleichbleibender Länge (aus denselben Metallen) geben Ketten von derselben Wirksamkeit, wie viel solcher Elemente man auch zusammensetzen mag.

Vorausgesetzt ist hierbei, daß bei den Ketten aus mehren Elementen alle abwechselnden Verbindungsstellen der heterogenen Metalle auf ungleiche Temperaturen gebracht werden. Erwärmte man z. B. in ei-

Digitized by Google

ner Kette aus 4 Elementen (d. h. aus 4 Paaren heterogener Metalle) nur Eine Verbindungsstelle, so würde die Ablenkung, welche sie an der Nadel hervorbringt, sogar schwächer sein, als durch eine Kette von nur Einem Elemente, dessen Glieder dieselbe Länge als in der größeren Kette hätten; bei Erhitzung von 2 Verbindungsstellen in der größeren Kette würde die Wirksamkeit zwar zunehmen, aber erst wenn alle 4 abwechselnde Verbindungsstellen in der größeren Kette erhitzt würden, würde die Ablenkung der Magnetnadel die nämliche werden, als bei der Kette aus einem Element, wenn die eine Verbindungsstelle derselben auf denselben Grad erhitzt würde.

Es wurde schon oben bemerkt, daß es bis jetzt noch nicht gelungen sei, andere als die magnetischen Wirkungen, welche man an der hydroelektr. Kette beobachtet, an der thermoelektr. nachzuweisen. Indeß ist es doch Fourier und Oersted gelungen, durch eine thermoelektr. Kette Zuckungen an einem Frosche hervorzubringen, und Becquerel hat chemische Wirkungen der thermoelektr. Kette beobachtet. Der letztere hat sich auch bemüht, thermoelektr. Wirkungen am Condensator nachzuweisen.

Um die verschiedenen Ketten hinsichtlich der Stärke des Stromes mit einander zu vergleichen, müßte man eigentlich die gesammte Wirksamkeit der Ketten mit einander vergleichen. Denn es kann der Fall sein, daß in Bezug auf eine Art von Wirkungen eine Kette einer anderen, anders construirten, vorsteht, während sie derselben in Bezug auf eine andere Art von Wirkungen nachsteht. Weiß man indeß wie die Wirkungen bei den verschiedenen Ketten nach ihren verschiedenen Arten einander bedingen, so wird es wenigstens, wenn die übrige Einrichtung der Kette bekannt ist, hinreichend sein, eine der Wirkungsarten genau nach ihrer Stärke an den zu vergleichenden Ketten zu beobachten, um ein vergleichbares Maß der Stärke des Stromes zu haben. Es fragt sich nun, welche der Wirkungsarten sich am besten eignen wird, die Stärke des Stromes zu messen.

Es könnte sich zunächst und als feinste Messung die Beobachtung der Wirkungen einer galvanischen Kette auf präparirte Froschschenkel empfehlen, indeß ist leicht einzusehen, daß derartige Beobachtungen niemals zu Maßbestimmungen dienen können, weil bei diesen Erscheinungen nicht allein die galvanische Kette, sondern eben so sehr auch die Reizbarkeit des thierischen Körpers, welche bei den einzelnen Individuen verschieden und bei jedem einzelnen in fortwährendem Abnehmen ist, von Einfluß ist. Andere Wirkungen der galvanischen Kette sind das Glühendmachen und Verbrennen des Schließungsdrahtes, und zwar geräth ein desto längerer Draht in Glühzustand, je kräftiger die Kette ist; allein ein allgemein vergleichbares Maß der Stärke des Stromes ergibt sich aus diesen Wirkungen schon darum nicht, weil dieselben bei schwachen Ketten gar nicht auftreten, und weil mit einer größeren Drahtlänge, durch welche die Kette geschlossen wird, auch der Strom einen längeren Weg zu durchlaufen bekommt, weil folglich die Verhältnisse der Kette bei den auf einander folgenden Versuchen mit derselben Kette oder mit verschiedenen Ketten nicht sich gleich bleiben. Die Länge des Weges,

Digitized by Google

welchen der Strom zu durchlaufen hat, setzt ihm aber einen Widerstand entgegen, durch den er um einen Theil seiner Kraft geschwächt wird. Die Größe der Gasbildung bei der Wasserzersetzung durch den elektr. Strom (s. d. Folg.) wird als Maß der Stärke des Stromes gebraucht (s. d. Folg.); dieselbe tritt aber nur bei Säulen merklich auf und auch hier erfordern die Beobachtungen eine so lange Zeit, daß während derselben die fortwährend an Wirksamkeit abnehmenden Säulen nicht als an Stärke des Stromes sich gleichbleibend angenommen werden dürfen.

Die elektromagnetischen Wirkungen sind in jeder Beziehung am geeignetsten zu Messung der Stärke des Stromes bei galvanischen Ketten angewendet zu werden. Die Ablenkung der Magnetnadel findet wie bei den stärksten so auch bei den schwächsten Strömen statt, da man die Wirksamkeit eines Stromes auf die Magnetnadel beliebig verstärken kann. S. d. Art. Elektromagnetismus und Multiplicator.

Ohm hat sich zu Messung des Leitungswiderstandes, den Drähte von verschiedenen Dimensionen in die Kette gebracht äußern, einer Vorrichtung bedient, bei welcher der Multiplicator nach dem Princip der Drehwage eingerichtet ist, und wobei es nur auf eine geeignete Aufhängung der Magnetnadel ankommt.

Zu diesem Zweck hänge man die Magnetnadel, genau im Mittelpunkt der Drehung, an einem feinen Metalldraht auf, der jedoch Stärke genug haben muß, daß die Nadel ihm bei der Drehung folgt. Die Befestigung des Metalldrahtes im obern Theil des Glasbehälters, welcher den Multiplicator bedeckt, so wie der oben am Draht angebrachte, auf einer Kreiseintheilung sich bewegende Zeiger, welcher zur Messung der Drehungen des Drahtes dient, sind ganz wie bei der Drehwage. (S. d. Art. und d. Art. Elektrometer S. 237.) Um das Instrument zu gebrauchen, stellt man den Zeiger der Drehung erst auf Null und läßt nun den Strom auf die Nadel wirken, die dadurch um eine gewisse Weite abgelenkt wird. Anstatt aber diese Ablenkung zu messen, dreht man jetzt den, mit dem Draht in Verbindung stehenden, Zeiger der obern Kreiseintheilung so weit zurück, daß die Nadel wieder auf den ersten Punkt einspielt, und zählt die Anzahl Grade, um welche der Zeiger zu diesem Zweck gedreht werden muß. Diese Anzahl ist der jedesmaligen Stärke der Kraft, welche auf die Nadel gewirkt hat, direct proportional, und kann somit zu einem einfachen Maße derselben dienen.

Am meisten empfiehlt sich zu Messung der Stärke des Stromes eine Methode, bei welcher die Anzahl von Schwingungen beobachtet wird, welche eine Magnetnadel unter dem Einflusse des Stromes macht. Bekanntlich stellt sich jede Magnetnadel, die frei aufgehangen ist, von selbst (eigentlich durch die Wirkung des Erdmagnetismus auf sie) in die Richtung des magnetischen Meridians (Lage des Gleichgewichtes), und bringt man sie auf irgend eine Weise aus dieser Lage heraus, so geht sie durch eine Reihe von Oscillationen wieder in dieselbe zurück. Aus der Lehre vom Magnetismus (s. d. Art.) weiß man, daß die

Digitized by Google

Kraft, welche die Nadel in die Lage ihres Gleichgewichtes zurückzuführen strebt, proportional ist dem Quadrate der Geschwindigkeit dieser Schwingungen, d. h. dem Quadrate der Anzahl von Schwingungen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder, was dasselbe, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeittheile, welche zur Vollbringung derselben Zahl Schwingungen erforderlich sind. Es ist ferner bekannt, daß ein elektrischer Strom das Bestreben hat, eine Magnetnadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen, daß folglich ein Strom, welcher in der Richtung des magnetischen Aequators geht und auf eine Magnetnadel wirkt, diese in derselben Richtung zu stellen strebt, in welcher der Erdmagnetismus sie stellt, daß also hier die Kraft des Stromes und die Kraft des Erdmagnetismus vereint, in einem Sinne, auf die Nadel wirken. Man lasse nun eine Magnetnadel im Multiplicator erst allein unter Wirkung des Erdmagnetismus oscilliren, zu welchem Ende man sie durch ein Eisenstäbchen, welches man ihr nähert, dann aber wieder entfernt, aus ihrer gewöhnlichen Richtung bringt. Nach dem Schlage einer genauen Uhr oder eines Pendels zähle man nun die Anzahl von Zeittheilen, welche vergehen, bis eine gewisse Anzahl von Oscillationen vollbracht ist. Die Schwingungen der Magnetnadel darf man in nur kleinen Bogen vor sich gehen lassen, bei großen Bogen gehen die anfänglichen Schwingungen in ungleich längern Zeiträumen vor sich als die folgenden, nur von Schwingungen in kleinen Bogen kann man ohne merklichen Irrthum annehmen, daß sie in gleichen Zeiten vollendet werden, (griech.) isochronisch sind. In dieser Beziehung verhalten sich die Schwingungen der Magnetnadel ganz wie die eines Pendels (s. d. Art.).

Diese Beobachtung gibt das Maß der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Ohne die richtende Kraft würde keine Oscillation stattfinden, und es erfolgen deren um so mehr in derselben Zeit, je größer die richtende Kraft ist. Nun bringe man den Schließungsdraht eines Elektromotors oder den Multiplicatordraht so an, daß er den Gesetzen des Elektromagnetismus gemäß die Nadel nicht aus ihrer natürlichen Richtung ablenkt, d. h. senkrecht auf die Ebene des magnetischen Meridians. Diese Stellung findet man durch den Versuch, wenn man beobachtet, daß in einer bestimmten Lage, bei Strömung der Elektr. durch den Draht, keine Ablenkung der Nadel erfolgt. Ist der Draht in dieser Stellung befestigt, so wirkt nun in demselben Sinne richtend auf die Magnetnadel: 1) der Erdmagnetismus; 2) die Kraft des Stromes. Man lasse die Nadel wieder oscilliren, beobachte an der Uhr oder am Pendel, wie viele Zeit nun die Nadel braucht, um dieselbe Zahl von Oscillationen zu vollenden wie vorhin. Durch diese Beobachtung findet man das Maß der Kraft, mit welcher vereint der Erdmagnetismus und der elektr. Strom auf die Nadel wirken; vorhin fand man das Maß der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus allein auf die Magnetnadel wirkt, dieses von jenem abgezogen gibt folglich das Maß der Kraft, mit welcher der Strom allein auf die Nadel wirkt. Fechner gibt folgendes erläuternde Beispiel. Wir wollen annehmen, die Magnetnadel brauche zur Vollendung

Digitized by Google

von 20 Oscillationen unter dem Einfluß der Erdkraft allein 100 Halbsecunden, so erhalten wir dadurch als Maß der Erdkraft die Zahl $\frac{1}{10000}$ oder 0,0001, weil 10000 das Quadrat von 100 ist und die Kraft sich diesem Quadrat umgekehrt proportional verhält. Gesetzt nun diese Nadel brauche unter dem vereinigten Einfluß des Stroms irgend einer Kette und der Erdkraft bei oben getroffener Anordnung bloß 50 Halbsecunden zu 20 Oscillationen, so wird das Maß für die Summe beider Kräfte sein $\frac{1}{2500}$ oder 0,0004; mithin wenn man das erstgefundene Maß vom letztgefundenen abzieht, so erhält man für das Maß der Kraft des Stroms allein $\frac{1}{2500} - \frac{1}{10000}$ oder 0,0004 — 0,0001 d. i. 0,0003. Mithin verhält sich in diesem Falle die Kraft, mit der der Strom allein, nach Abzug der Erdkraft, auf die Nadel wirkt, wie 3 : 1. Gesetzt jetzt, die Nadel brauche unter dem Einflusse eines anderen Stroms 30 Halbsecunden zu 20 Oscillationen, so ist das Maß für die Kraft des Stroms allein $\frac{1}{900} - \frac{1}{10000}$ d. i. 0,00011; mithin verhält sich die Kraft dieses zweiten Stroms zur Kraft des ersten wie 11 zu 3.

Man kann in jedem Falle die Kraft der Erde = 1 gesetzt zu Grunde legen, und hiermit alle verschiedenen Stromkräfte vergleichen. Bezeichnet N die Zahl der Zeittheile, welche die Nadel braucht um eine gewisse Anzahl von Schwingungen unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus zu vollbringen, und ist N′ die Zahl der Zeittheile, welche dieselbe Nadel unter gleichzeitigem Einflusse des Erdmagnetismus und der Kraft des Stroms zu Vollbringung derselben Anzahl von Schwingungen wie bisher nöthig hat, so ist das Maß der Kraft dieses Stromes:

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2 N'^2}$$

oder wird die Kraft der Erde als Einheit gesetzt

$$= \frac{N^2 - N'^2}{N'^2}.$$

In dem Vorhergehenden war vorausgesetzt, daß die Kraft des Stromes die Magnetnadel in derselben Richtung zu stellen strebt, in die sie der Erdmagnetismus stellt, zu welchem Ende der Schließungsdraht in der Richtung des magnetischen Aequators gehen müßte. Es ist aber aus den Gesetzen des Elektromagnetismus bekannt, daß je nachdem der Strom hierbei von der Rechten zur Linken oder umgekehrt geht, auch der Fall eintritt, daß der Strom die Nadel in der dem Erdmagnetismus direct entgegengesetzten (auch also in den magnetischen Meridian) Richtung zu stellen strebt. Bei solcher Richtung des Stromes wirkt also der Erdmagnetismus schwächend gegen die Kraft des Stroms, man erhält durch die zweite Beobachtung das Maß der Kraft des Stromes weniger der Kraft des Erdmagnetismus. Um folglich allein das

Maß der Kraft des Stromes zu erhalten, muß man das Resultat der ersten Beobachtung zu dem der zweiten in diesem Falle addiren.

Statt die Beobachtungen, wie im Vorhergehenden angenommen wurde, mit einer einfachen Magnetnadel anzustellen, kann man sich auch einer Nobilischen Doppelnadel bedienen. Die Berechnung ist dieselbe, nur ist hier die Kraft = 1, mit welcher die Kraft eines Stromes verglichen wird, nicht mehr die, mit welcher der Erdmagnetismus auf Eine freischwebende Magnetnadel wirkt, sondern mit der er auf das System der zwei mit einander verbundenen Nadeln wirkt, d. h. die Differenz seiner Kräfte auf beide Nadeln. Bedient man sich bei den Beobachtungen der Doppelnadel, so erhält man daher absolut größere Werthe für die Größe des Stromes, als wenn man mit einfachen Nadeln beobachtet, diese Werthe stehen aber in demselben Verhältniß unter einander, wie die mit einfachen Nadeln erhaltenen. Um verschiedene Ströme zu beobachten und nach den Resultaten hinsichtlich ihrer Stärke vergleichen zu können, muß man sich natürlich bei allen Beobachtungen derselben Doppelnadel bedienen. Bei gewissen Versuchen, wo die Kraft von Ketten, in denen sich bloß ein kurzer metallischer Leiter befindet, gemessen werden soll, ist es nöthig an die Stelle des Multiplicators einen einfachen Schließungsbogen zu setzen. Fechner bedient sich hierzu eines Messingstreifens, etwas breiter als die Nadel selbst, welcher eine einzige Windung macht, und übrigens ganz wie ein Multiplicator angeordnet ist. Fig. 182. stellt ihn im Durchschnitt und Fig. 183. sein oberes Blatt der Fläche nach dar. Der Streifen cbad Fig. 182. ist mit seinem unteren Blatte bc in das Holz des Untersatzes eingelassen und befestigt, welcher die Glocke trägt. e ist ein isolirender Zwischenkörper, welcher die außerhalb der Glocke hervortretenden breiten Fortsätze des oberen und des unteren Blattes trennt. f und g sind mit Quecksilber zu füllende Metallschälchen, in welche möglichst dicke und kurze Drähte von den Elektromotorplatten aus geleitet werden. Auf dem oberen Blatte ist eine in h, Fig 183., sichtbare Oeffnung zum Einbringen der unteren Nadel in den Streifen eingeschnitten. Bei der Messung durch das Verfahren der Oscillationen erhalten die Nadeln die durch die punktirte Linie angedeutete Stellung gegen den Streifen.

Fechner gibt noch einige sehr zu berücksichtigende Vorsichtsmaßregeln und Rücksichten an, welche bei den angegebenen Messungen zu nehmen sind: „Was zuvörderst das Verfahren bei der Zählung anlangt, so ist es, um diese mit der größtmöglichsten Genauigkeit vorzunehmen, zweckmäßig, den Anfang der Zählung nicht mit dem Ende oder Anfange einer Oscillation zu beginnen, weil hier die Schwingung, indem sie aus einer Richtung in die entgegengesetzte übergeht, gleichsam eine kleine Zeit stationär bleibt, so daß man den Augenblick, wo die Schwingung eigentlich beginnt oder aufhört, nicht mit vollkommener Präcision zu bestimmen weiß. Vielmehr muß man von der Mitte einer Oscillation zu zählen anfangen, wo die Bewegung der Nadel am stärksten ist. Man bindet zu diesem Zweck einen feinen Seidenfaden um den Multiplicator, so daß sich die obere Nadel in ihrem Ruhezustande mit

der Spitze grade über diesem Faden befindet, und beginnt nun mit Null die Zählung von dem Augenblick an, wo die Nadel in der Mitte einer Oscillation über diesen Faden hinweggeht und beendigt sie mit der Zahl, welche man in dem Augenblick erhält, wo die Nadel nach einer paaren Anzahl von Oscillationen wieder zum Faden zurückgekehrt ist. Auf solche Weise kann aller Irrthum, welcher begangen wird, nur darauf beruhen, daß, wenn die Nadel nicht grade mit dem Anfange oder Ende eines Zeittheils am Faden anlangt, man den Bruch des Zeittheils durch ungefähre Schätzung zu bestimmen suchen muß. Man muß sich ferner überzeugen, daß das Gestell, auf welchem der Multiplicatordraht aufgewunden ist, wenn es von Metall ist, nicht etwa selbst magnetische Stellen hat, d. h. solche, welche Anziehung oder Abstoßung auf die Magnetnadel äußern. Namentlich das gehämmerte Messing scheint, vielleicht wegen Eisengehalts, diesem Uebelstande ausgesetzt, und ich selbst habe die Erfahrung hiervon gemacht. Ein solches Gestell ist ganz zu verwerfen, und man muß sich daher lieber zu diesen Versuchen eines Gestells von Holz oder von einem anderen Metall bedienen.“

„Man findet öfters, daß die Magnetnadel, wenn man sie, nachdem man einen starken Strom darauf hat einwirken lassen, wieder unter dem bloßen Einfluß der Erdkraft oscilliren läßt, nicht mehr dieselbe Anzahl Zeittheile zu einer bestimmten Zahl Oscillationen braucht, als vorher. Zwei Ursachen können hieran Schuld haben. Einmal kann der Strom selbst verändernd auf den Magnetismus der Nadel wirken, da, wie wir in der Lehre vom Elektromagnetismus erfahren (s. d. Art.), selbst unmagnetischer Stahl durch vorbeigehende elektrische Ströme Magnetismus erhalten kann. Nun hängt die Schnelligkeit der Oscillationen, die eine Nadel vollbringt, nicht allein von der Kraft, die sie in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, sondern auch von der Kraft ihres eigenen Magnetismus ab (ist dem Product aus beiden proportional), und bei jeder Veränderung dieser Kraft muß sich daher auch die Schnelligkeit ihrer Schwingungen ändern. Die zweite Ursache anlangend, so scheint es nach einigen Erfahrungen, als ob der Schließungsdraht, wenn er unter dem Einfluß starker Ströme gewesen, auch nach Oeffnung der Kette zuweilen noch schwach in der Art zu wirken fortführe, als wenn ihn ein Strom durchliefe, welches dann ebenfalls die Schwingungsdauer der Nadel, so lange sie dem Einfluß des Drahts ausgesetzt bleibt, ändern muß.“

„Von dem Einfluß der ersten Ursachen habe ich (Fechner) mich selbst in einigen vorkommenden Fällen überzeugt, indem ich die Nadel, deren Schwingungsdauer sich verändert hatte, aus dem Multiplicator herausnahm und für sich schwingen ließ, wo sich noch dieselbe veränderte Schwingungsdauer zeigte, zum Beweise, daß hierbei die zweite Ursache nicht mit thätig gewesen war. Dessen ungeachtet könnte sie in einigen Fällen in Betracht kommen. Des hier angegebenen Umstandes wegen muß man sich nach und innerhalb jeder Versuchsreihe überzeugen, ob sich die Schwingungsdauer der Nadel nicht während derselben ändert, weil man sonst keine vergleichbaren Resultate erhalten würde, wenn man die Kraft bloß nach der zu Anfang der Versuche beobachteten Os-

Digitized by Google

cillationszeit der Nadel berechnen wollte. Bei nicht zu starken und zu lange einwirkenden Strömen hat man übrigens nichts von diesem Umstand zu besorgen, wie mich vielfältige Versuche gelehrt haben, und vielleicht würde er sich durch Anwendung von Nadeln, die einen angemessenen Härtungsgrad besitzen, fast ganz beseitigen lassen. Bei allen messenden Versuchen über die Stärke des Stroms, welche vergleichbar ausfallen sollen, muß man die Verbindung der Metalldrähte mit den Elektromotoren stets auf eine gleichförmige Weise zu erhalten und so einzurichten suchen, daß man die Kette schließen oder öffnen kann, ohne die Metallplatten aus ihren Verhältnissen zur Flüssigkeit zu bringen. Am besten genügt man diesen beiden Zwecken dadurch, daß man den Leitungs- oder Multiplicatordraht mit seinen beiden Enden in zwei Gefäße mit Queckſilber tauchen läßt und in dieselben Gefäße Drähte leitet, die an den entgegengesetzten Elektromotorplatten oder den Polen einer Säule, deren Strom gemessen werden soll, angelöthet sind. Solchergestalt kann man, ohne an dem elektromotorischen Apparat selbst etwas zu ändern, die Schließungsdrähte oder Multiplicatoren beliebig wechseln, um z. B. die Stärke des Stroms für Schließungsdrähte von verschiedener Beschaffenheit und Dimension bei demselben elektromotorischen Apparat zu vergleichen. Es ist im Allgemeinen nicht räthlich, sich bei messenden Versuchen über die Kette feuchter Tuch- oder Pappscheiben als Zwischenleiter zu bedienen, weil man es nie in seiner Gewalt hat, die Berührung des Metalls mit der Feuchtigkeit bei verschiedenen Ketten völlig gleich einzurichten, was sehr bedeutende Unterschiede in der Wirksamkeit nach sich zieht. Indeß kann man diese Ungleichheiten merklich compensiren, wenn man anstatt einfacher Ketten Säulenordnungen wählt, für jede Säule die auf gleiche Weise genäßten, vorher noch zu keinem anderen Versuche angewandten, Tuch- oder Pappscheiben unter einem mäßigen und völlig gleichen Druck ausdrückt, auf jede Säule, nachdem sie geschichtet ist, einen gleich starken (durch ein gleiches Gewicht hervorgebrachten) und gleich lange anhaltenden Druck wirken läßt, um eine innige Berührung ihrer Metallplatten mit den feuchten Scheiben bei allen auf die gleichförmigste Weise zu bewerkstelligen. Indem man dann von mehren solchen Säulen bald die gleichnamigen, bald die ungleichnamigen Pole verbindet, hat man es in seiner Gewalt, sie als Säulen von großen Platten oder als Säulen von vielen Platten wirken zu lassen.“

Fechner sagt, daß es ihm bei Anwendung aller der angeführten Vorsichtsmaßregeln durch Combination solcher partiellen Säulen aus nur 5 oder 6 Plattenpaaren gelungen sei, das Gesetz, nach welchem die Wirkung mit der Oberfläche und Anzahl der Platten zunimmt, mit hinreichender Schärfe nachzuweisen. Wenn eine der Platten in einer Säule auch eine andere Berührungsart mit der Feuchtigkeit hat, als eine andere Platte in einer anderen, so wird dieser Umstand doch bei Anwendung mehrer Platten compensirt. Dagegen ist diese Anwendungsart bei einfachen Ketten unstatthaft. Bei diesen soll man sich stets der Anordnung von Trogapparaten bedienen. Die Tröge sind am besten von Porcellan oder von Eichenholz, welche letzteren mit kochendem Del-

Digitized by Google

firniß ausgegossen und gut getrocknet werden. Die Platten werden in Fugen eingesenkt, welche auf dem Boden oder an den Seitenwänden der Tröge angebracht sind.

Um die Kraft eines Stromes zu Anfang der Wirksamkeit zu messen stellt man, nachdem beide Platten bereits eingetaucht sind, ihre Verbindung mit dem Multiplicator her. Am bequemsten bedient man sich hierbei der Art der Verbindung (s. oben), wo angelöthete Drähte in Gefäße mit Quecksilber getaucht werden, man kann dann präcis mit dem Augenblicke der Schließung auch die Zählung der Oscillationen beginnen.

Die Kraft eines Stromes ist am stärksten gleich nach der Schließung der Kette, geht darauf herab bis zu einem Grade der Kraft, den sie dann längere Zeit beibehält. Man muß daher, um vergleichbare Resultate der Beobachtung zu erhalten, wenn man die Kraft zu Anfang der Wirksamkeit bestimmen will, nur eine geringe Anzahl von Oscillationen zählen und darnach das gewünschte Resultat berechnen, oder kommt es nur auf eine allgemeine Bestimmung der Kraft des Stromes an, so muß man abwarten, bis dieser bis auf den eine geraume Zeit gleichbleibenden Grad der Kraft herabgesunken ist. Die Veränderlichkeit in der Kraft des Stromes nennt Ohm das Wogen der Kette. Es ist zuweilen der Fall, daß die Wirksamkeit einer Kette unter abgeänderten Umständen, etwa bei verschiedener Länge der metallenen Zwischenleiter oder mit verschiedenen Flüssigkeiten, untersucht werden soll. Dann müssen die Platten vor jedem neuen Versuche sorgfältig gereinigt werden. Ferner darf, wenn mehre Beobachtungen zu Maßbestimmungen an derselben Kette genommen werden, damit diese unter einander vergleichbar sind, die Kette nie geöffnet werden. Das Einbringen und Wegnehmen von Leitern muß geschehen, während die Kette geschlossen bleibt. Nach jedesmaligem Oeffnen und Wiederschließen einer Kette tritt nämlich ein erhöhter Grad der Wirksamkeit ein, der erst allmählig wieder zu dem gewöhnlichen Grade herabsinkt. Wenn man daher bei Anstellung der angegebenen Maßversuche genöthigt ist, die Kette zu öffnen, so muß man zur Fortsetzung der Versuche erst abwarten, bis die Kette wieder ihren gleichförmigen Zustand erlangt hat.

Wenn man aus einer zusammengesetzten Kette, deren Kraft den eine Zeitlang sich gleichbleibenden Zustand erlangt hat, ein Plattenpaar herausgenommen hat, um die daraus folgende Verminderung der Wirksamkeit zu beobachten, so darf man (nach Fechner) nicht dadurch ein Mittel aus mehren Beobachtungen erhalten wollen, daß man es nun wieder in die Kette hinzunimmt, und darauf die Kraft aufs neue mißt, denn die Kraft ist dann oft anfangs viel größer als bei dem sich gleichbleibenden Zustande, ehe das Plattenpaar aus der Kette gelassen wurde. Erst allmählig erreicht die Kette wieder den sich gleichbleibenden Zustand. Die anfängliche Wirkung nach der Wiederaufnahme der Platten in die Kette ist zusammengesetzt aus der sich gleich gebliebenen Wirkung der in der Kette gebliebenen Platten und der durch das Weglassen aus der Kette verstärkten Kraft der wieder hineingenommenen Platten. Zur Fortsetzung der Versuche muß man nach der Wiederaufnahme der vorher

Digitized by Google

weggelassenen Platten das (nicht lange nachher) erfolgende Wiedereintreten des sich gleichbleibenden Zustandes abwarten. Fechner hat ein Mittel gefunden, die lästigen Schwankungen in der Kraft der aus der Kette gelassenen und wieder aufgenommenen Platten zu beseitigen. Dieses Mittel besteht darin, daß man, so wie z. B. eine Kupfer- und Zinkplatte aus der Kette weggelassen wird, diese sofort für sich durch Ueberleitung ihrer Drähte in zwei Quecksilbergefäße schließt, die durch einen Draht verbunden werden, der dem Draht des angewandten Multiplicators an Länge ungefähr gleich ist. Bei der Wiederaufnahme der Platten in die Ketten werden keine oder nur geringe Schwankungen stattfinden.

Noch andere Arten des Wogens der Kette sind zuerst von Ohm und Fechner beobachtet worden, doch nur in ihren allgemeinsten Bedingungen bekannt. Bringt man einen schlechten Zwischenleiter in eine Kette, deren Kraft die sich gleichbleibende geworden, so steigt die sofort hierdurch verminderte Kraft allmählig wieder. Verkürzt man den Leitungsdraht, so tritt erst Verstärkung, dann aber Sinken der Kraft ein. Wird ein Theil einer erregenden Oberfläche aus der Kette weggelassen, so bleibt die Kraft nicht beim ersten Grade des hierdurch bewirkten Sinkens stehen, sondern sinkt allmählig immer weiter.

Um über die Art der Wirksamkeit einer Kette eine etwas genauere Vorstellung zu gewinnen, muß man folgendes berücksichtigen. Wenn man die elektr. Spannung an den Polen einer Säule beobachtet, so zeigt sich bei derselben Säule die Spannung stets gleich, welche Art von Flüssigkeit man auch bei Schichtung der Kette gewählt haben mag. Daß dem so sein müsse, geht auch schon daraus hervor, daß die Elektricitätserregung nicht von den Flüssigkeiten, sondern von den in Berührung stehenden Metallen ausgeht. Dagegen zeigt sich die Stärke des Stromes sehr verschieden, wenn man mit verschiedenen Flüssigkeiten geschichtete Säulen successiv mit demselben Leiter schließt. Die Stärke des Stromes ist um so bedeutender, je besser die angewandte Flüssigkeit die Elektr. zu leiten vermag, je schneller also die Elektr. fortgeleitet wird. Darum ist z. B. die Wirksamkeit einer mit einer Säure geschichteten Kette größer als die einer mit destillirtem Wasser geschichteten und am geringsten ist die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säulen. Vergl. S. 499 d. B. Die Wirksamkeit der Kette hängt hiernach nicht allein von der Menge der durch die Berührung der Metalle erregten Elektr. ab, sondern auch von der Geschwindigkeit, mit welcher die Elektr. strömt. Hiernach steht die Wirksamkeit einer Kette überhaupt im zusammengesetzten Verhältnisse der Menge und der Geschwindigkeit der Elektricität, welche durch jeden Durchschnitt derselben läuft.

Was die verschiedenen Wirkungen der geschlossenen Kette betrifft, so ist im Allgemeinen erwiesen, daß sie gleichmäßig mit einander ab- und zunehmen, daß also, wenn man Maßbestimmungen der Kraft des Stromes nach einer der Wirkungen der geschlossenen Kette genommen hat (wie im Vorigen die Anweisung zu Maßbestimmungen mit Hülfe des Multiplicators, also nach den elektromagnetischen Wirkungen gegeben wurden), man im Allgemeinen berechtigt sei, hieraus einen

Schluß auf die relative Größe der übrigen Wirkungen zu machen. Findet man daher, daß ein gewisser Umstand zur Erhöhung oder Verminderung einer Art von Wirkung beiträgt, so wird man im Allgemeinen berechtigt sein, anzunehmen, daß derselbe Umstand in gleichem Verhältnisse auch zu Erhöhung oder Verminderung der übrigen Wirkungsarten der Kette beitragen werde. Scheinbare Ausnahmen werden bei Aufführung der einzelnen Wirkungsarten zu erwähnen sein.

Ohm hat namentlich von theoretischen Betrachtungen geleitet mehre Gesetze in Bezug auf Verstärkung und Schwächung des Stromes aufgestellt, welche die Erfahrung, wenn auch (aus Mangel an hinlänglichen Versuchen) noch nicht allseitig, doch im Allgemeinen bestätigt hat, und die geeignet sind, eine Einsicht auch in die scheinbar verwickelten Umstände der Wirksamkeit der galv. Ketten zu gewähren.

Gesetzt, es sei in einer Kette an einer Stelle ein Wasserzersetzungsapparat (s. d. Folg.) angebracht, und an einer anderen Stelle wirke dieselbe Kette auf eine Magnetnadel. Wird nun das Leitungsvermögen eines Theiles der Kette erhöht oder vermindert, so findet sich, daß gleichzeitig an der einen Stelle die zersetzende Wirkung, an der anderen die elektromagnetische vermehrt oder vermindert, wenn man auch die Veränderung im Leitungsvermögen an ganz anderen Stellen vornahm. Nimmt man nun an, wie wenigstens sehr wahrscheinlich ist, daß die Vermehrung oder Verminderung der Kraft alle Theile der Kette stets in genau gleichem Verhältnisse treffe, und spricht man die hierbei gemachte Erfahrung in Form eines allgemein gültigen Gesetzes aus, so erhält man das erste der Ohmschen Gesetze:

„Wenn die Wirksamkeit irgend eines Theils der Kette zunimmt oder abnimmt, dadurch, daß man die elektromotorische Kraft oder das Leitungsvermögen an irgend einer Stelle der Kette vermehrt oder vermindert, so nimmt die Wirksamkeit aller übrigen Theile der Kette in entsprechendem Grade zu oder ab.“

Stellen wir uns die Elektr. als eine Flüssigkeit vor, die durch die Theile der Kette gleichmäßig strömt, so ist gewiß, daß die Gesammtquantität dieses Stromes gleich groß sein müsse in jedem Theile der Kette, derselbe mag nun im Querschnitt größer oder kleiner sein. In einem engeren Theile der Kette wird sich die Elektr. zusammendrängen, die sich in einem weiteren Theile ausbreitet, hier und dort aber werden im Ganzen gleiche Quantitäten Elektr. hindurchströmen. Eine Menge von Thatsachen sprechen hierfür. Der Schließungsdraht der Kette geräth ins Glühen, wenn er hinlänglich dünn im Verhältniß zur Kraft der Kette ist, so daß je schwächer eine Kette ist, desto dünner ein Verbindungsdraht sein muß, welcher glühend werden soll. Hiernach ist eine gewisse Intensität der durchströmenden Elektr. nöthig, um z. B. einen Platindraht ins Glühen zu bringen, der Strom der Elektr. wird in den dünnen Platindraht zusammengedrängt, und zwar wird für jeden Grad der Stärke einer Kette es eine bestimmte Dünne des Drahtes geben, bei welcher der Strom der Elektr. so zusammengedrängt, die Intensität der Elektr. so erhöht wird, daß Glühen des Drahtes erfolgt. — Seebeck schloß ein Plattenpaar von 5½ Quadratfuß succeſſiv

mit folgenden Körpern, und erhielt dabei an einer über dem schließenden Körper angebrachten Magnetnadel folgende Ablenkungen:

Schließende Körper	Ablenkung der Nadel
Metallstab von $3\frac{1}{2}$ Lin. Durchmesser	16°
Metallstreifen, $3\frac{1}{4}$ Zoll breit	9°
Metallstreifen, $12\frac{7}{8}$ Zoll breit	$2°\frac{5}{8}$
Metallplatte, 2 Fuß breit	0°

Je breiter also der verbindende Körper war, desto geringer war die Wirkung auf die Nadel. Nun wissen wir aber aus anderen Versuchen, daß die Vergrößerung des Querschnittes eines schließenden Leiters die allgemeine Stärke des Stromes vielmehr vergrößert als verringert, die schwächende Wirkung der Breite kann daher im gegenwärtigen Falle nur davon abgeleitet werden, daß dasselbe (oder sogar ein etwas größeres Quantum Elektr.) in dem breiteren Leiter viel mehr sich ausbreiten mußte, als in dem schmäleren, und wenn daher selbst etwas mehr Elektr. durch jeden Querschnitt des breiten Leiters in derselben Zeit ging, als durch jeden Querschnitt des schmäleren, so konnte doch jene nicht aus einer so großen gemeinsamen Nähe auf die Nadel wirken, als diese, deren ganze Intensität mehr zusammengedrängt war. — Das zweite Gesetz von Ohm ist, die eben bemerkten Erfahrungen, zu denen noch andere angeführt werden könnten, allgemein ausgesprochen:

„Die Gesammtquantität von Elektr., welche durch jeden Querschnitt der Kette, der senkrecht durch die Richtung des Stromes gemacht wird, in derselben Zeit hindurchgeht, ist in der ganzen Länge der Kette gleich groß und unabhängig von der besonderen relativen Beschaffenheit oder Größe jedes Querschnittes, wonach sich die Intensitäten des Stromes in jedem Theile der Kette umgekehrt wie die Querschnitte dieser Theile, senkrecht auf die Richtung des Stromes genommen, verhalten werden."

Ein in seiner ganzen Länge homogener Leiter muß hiernach an jeder Stelle, in der Mitte wie nach den Polen zu, gleich wirksam sein. Unter anderen hat Barlow dieses durch directe Beobachtungen dargethan. Derselbe stellte nämlich Versuche mit einer Drahtlänge von 838 Fuß an, und fand, wenn er eine Magnetnadel gerade unter die Mitte des langen schließenden Drahtes stellte, während zwei andere ganz nahe am pos. und neg. Ende des Elektromotors standen, daß sie hier so wie an allen andern Stellen des Drahtes durchaus ganz gleiche Ablenkung zeigten.

Ein Körper ist ein desto besserer Leiter für die Elektr., einen je geringeren Widerstand er der Ausbreitung der Elektr. entgegenstellt. Daß aber stets sowohl die flüssigen als auch die festen Leiter einen Widerstand der Verbreitung der Elektr. entgegenstellen, geht daraus hervor, daß durch die Verlängerung eines Leiters der Kette die Kraft des Stromes vermindert wird.

A in Fig. 184. sei ein Gefäß mit leitender Flüssigkeit, in welche die Kupferplatte K und die Zinkplatte Z eingesenkt ist; a, b und c sind kleine Gefäße mit Quecksilber; angelöthete Drähte gehen von K und Z aus in die Gefäße a und b; der Multiplicatordraht M ist mit

Digitized by Google

seinen Enden in die Gefäße a und c gesenkt. Wird nun noch ein Drahtbogen l mit seinen Enden in die Gefäße b und c gesenkt, so ist die Kette geschlossen; der Strom strebt seine Richtung von Z durch b, l, c, M, a zurück nach Z zu nehmen und die Magnetnadel des Multiplicators zu afficiren. Nach der angegebenen Methode mißt man durch die Zählung der Oscillationen der Nadel die Kraft des Stromes. Gesetzt l war nur ein kurzer Draht, so setze man nach geschehener Messung an seine Stelle einen anderen ungleich längeren Draht und messe nun mittelst der Magnetnadel aufs neue die Kraft des Stromes; man wird finden, daß jetzt die Kraft des Stromes schwächer als vorher bei Anbringung des kürzeren Drahtes l ist. Auf ähnliche Weise findet man auch, daß der Strom um so mehr geschwächt wird, je dünner der Draht l ist; und endlich, daß einige Metalle geringeren, andere größeren Leitungswiderstand zeigen, je nachdem l aus dem einen oder dem anderen dieser Metalle bestand. Auch die Temperatur bringt ähnliche Unterschiede des Leitungswiderstandes hervor.

Aehnliches wie von festen gilt nun auch von flüssigen Leitern. Je weiter in der leitenden Flüssigkeit die Elektromotorplatten von einander abstehen, desto schwächer zeigt sich die Wirksamkeit der Kette. Je tiefer die Platten in die Flüssigkeit eingesenkt werden, desto größer wird der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche die Strömung der Elektr. geschieht, desto größer die Wirksamkeit der Kette. Verschiedene Flüssigkeiten, welche man anwendet, haben auch eine verschiedene Wirksamkeit der Kette zu Folge, und endlich haben die Flüssigkeiten größere Wirksamkeit zu Folge, wenn man sie erwärmt.

Die Erfahrung lehrt jedoch, daß derselbe Umstand, welcher bei einer Kette schwächend wirkt, nicht in *demselben Grade* Schwächung bei anderen Ketten hervorbringt. Es kommt hierbei auf die besonderen bei jeder Kette stattfindenden Verhältnisse an. Folgendes drittes Gesetz spricht die in dieser Beziehung stattfindende durch die Beobachtungen bestätigte Regel aus:

a) „Der Leitungswiderstand irgend eines Theiles der Kette verliert um so mehr an Einfluß zur Schwächung der Kette, je kleiner er im Verhältniß zum Leitungswiderstande des übrigen Theiles der Kette ist, oder je mehr er im Verhältniß dagegen verschwindet."

b) „Umgekehrt trägt Verminderung des Leitungswiderstandes irgend eines Theiles der Kette, oder, was dasselbe ist, Erhöhung seines Leitungsvermögens in einem bestimmten Verhältnisse um so mehr zur Verstärkung der Kraft der Kette bei, je größer dieser Leitungswiderstand im Verhältniß zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette ist.

Beide Theile des Gesetzes in Einen zusammengesetzt geben das Gesetz wie folgt:

c) „Die Kraft der Kette ist der gesammten elektromotorischen Kraft, die in ihr wirksam ist, direct, dem Leitungswiderstande aller ihrer Theile zusammengenommen aber umgekehrt proportional, oder verhält sich wie die in der Kette wirksame elektromotorische Kraft, dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand aller Theile der Kette."

Bezeichnen wir mit K die Kraft des Stromes, die in der Kette

Digitized by Google

wirksame elektromotorische Gesammkraft (bei einer einfachen Kette die elektromot. Kraft der Metalle oder ihre Spannung im ungeschlossenen Zustande, bei der zusammengesetzten Kette oder Säule der Summe aller Spannungen der einzelnen Plattenpaare) mit A, den Gesammtleitungswiderstand mit L, so ist nach der angegebenen Regel $K = \frac{A}{L}$.

Die elektromotorische Kraft einer Säule wird vermehrt, je mehr Plattenpaare man in sie bringt. Der Leitungswiderstand eines Theiles der Kette kann daher überwunden werden, wenn man eine gehörige Menge Plattenpaare anwendet. So gelang es Davy mittelst einer Säule von 2000 Plattenpaaren selbst durch eine Luftschicht den elektr. Kreislauf einzuleiten. Wenn man folglich den elektr. Strom auf schlechtleitende Körper einwirken lassen will, so wird man sich Säulen aus einer größeren Anzahl Plattenpaaren zu bedienen haben. Wenn dagegen nur die erregenden Oberflächen (d. h. die mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Oberflächen der Metallplatten) vergrößert werden, so wird dadurch der Leitungswiderstand der Flüssigkeit vermindert, aber wo dieser Leitungswiderstand überhaupt sehr gering ist zu einem Leitungswiderstande, den in die Kette gebrachte schlechte Leiter entgegensetzen, so wird eine solche Vergrößerung nicht beitragen, den letzteren Leitungswiderstand zu überwinden. Ist hingegen der Leitungswiderstand der übrigen Theile der Kette verhältnißmäßig nur gering gegen den Leitungswiderstand der Flüssigkeit, so wird die Kraft der Kette erhöht werden mit Verminderung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeit. Diese geschieht durch Annäherung der erregenden Platten an einander, Vergrößerung der erregenden Oberflächen, Erwärmung der Flüssigkeiten, Zusatz von Säuren ꝛc. Fechner gibt folgendes Zahlenbeispiel:

Gesetzt der Leitungswiderstand der metallischen Theile in der Kette verhalte sich zum Leitungswiderstande in der Flüssigkeit wie 1 : 100, so wird, wenn wir die elektromotorische Kraft = 1 setzen, die Kraft des Stromes proportional sein der Zahl $\frac{1}{101}$, proportional nämlich der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand. Verdoppeln wir nun das Leitungsvermögen in der Flüssigkeit entweder durch Vergrößerung ihres Querschnitts mittelst Vergrößerung der erregenden Oberfläche oder durch Hinzufügung von Säuren oder Salzen, so wird hierdurch ihr Widerstand 100 auf 50 reducirt, während der Widerstand 1 der metallischen Theile derselbe bleibt, mithin ist die Kraft des Stroms jetzt $= \frac{1}{51}$, welches fast die Hälfte von $\frac{1}{101}$ ist. Verhielte sich aber umgekehrt der Widerstand in der Flüssigkeit zum Widerstande der festen Theile der Kette wie 1 : 100, so würde man durch Verdoppelung ihres Leitungvermögens bloß den Theil 1 auf die Hälfte herabbringen, während 100 unverändert bliebe, und die Kraft würde jetzt sein $\frac{1}{100\frac{1}{2}}$, welches nur sehr wenig größer als $\frac{1}{101}$ ist; ja wie groß man auch die erregende Oberfläche und wie stark man die Leitungs-

Digitized by Google

flüssigkeit nehmen wolle, die Größe der möglicherweise hierdurch zu erreichenden Wirkung würde nicht über $\frac{1}{100}$ steigen können, bis dahin nämlich, wo der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit verschwindet. Wir werden später Versuche anführen, welche dem hier Gesagten zum speciellen Belege dienen.

In allen denjenigen Fällen, wo der Strom auf gute Leiter wirken soll, wird man sich daher einfacher Ketten, oder weniger aber großer Platten so wie starker Leitungsflüssigkeiten mit Vortheil bedienen, z. B. zu Hervorbringung der Glüh- und Hitzewirkungen der Kette, so wie der meisten elektromagnetischen Erscheinungen, wo ein Metalldraht die Schließung der Kette bewirkt. Auch ein ziemlich langer Draht ist immer noch ein ziemlich geringen Leitungswiderstand entgegensetzender Körper. Dagegen bedient man sich mit Vortheil kleinerer aber vieler Plattenpaare mit einer nicht zu starken Leitungsflüssigkeit in denjenigen Fällen, wo der Strom auf einen schlechten Zwischenleiter wirken soll. Ein solcher ist z. B. auch der menschliche Körper, und eine Säule von vielen kleinen Plattenpaaren und schwacher Leitungsflüssigkeit gibt daher stärkere physiologische Wirkungen (s. d. Folg.) als eine einfache Säule mit großen Platten und starker Leitungsflüssigkeit.

Außer dem Leitungswiderstande der metallischen Leiter und der Flüssigkeiten gibt es in der Kette noch einen dritten, welchen Fechner den Leitungswiderstand des Ueberganges nennt, weil er vielleicht seinen Grund in einer Schwierigkeit hat, welchen die Elektr. beim Uebergange zwischen festen und flüssigen Leitern findet. Schichtet man mehre Kupferplatten abwechselnd mit feuchten Scheiben und bringt diese Schicht in den Kreis einer Säule oder einfachen Kette, so wird diese hierdurch mehr geschwächt, als wenn dieselbe Anzahl Kupferplatten und dieselbe Anzahl feuchte Scheiben so in die Kette gebracht werden, daß die Kupferplatten zusammen und die feuchten Scheiben zusammen geschichtet sind. Im ersten Falle der Schichtungen fanden aber mehr Uebergänge aus feuchten in feste Leiter und umgekehrt statt, als im letzten. Genauere Beobachtungen über den Leitungswiderstand des Ueberganges sind von Fechner angestellt worden. Er sagt: Fände wirklich eine solche Schwierigkeit des Ueberganges bei in die Kette gebrachten Zwischenplatten statt, so steht zu erwarten, daß sie auch in der Berührung der Leitungsflüssigkeit mit den Erregerplatten selbst statthaben werde. Die Art der Nachweisung, daß es sich wirklich so verhalte, ist im Allgemeinen folgende. Selbst durch verhältnißmäßig grobe Versuche läßt sich das Vorhandensein dieses Widerstandes in vielen Fällen kenntlich machen. In Ketten von schlechter Leitungsflüssigkeit und nicht zu großen Platten pflegt der Leitungswiderstand des Schließungsdrahts nur einen sehr geringen Theil vom Gesammtwiderstande zu betragen, wie man finden kann, wenn man successiv verschiedene dem Multiplicator ähnliche Drahtlängen in die Kette hinzubringt, wo die Wirkung nur sehr wenig geschwächt wird. In diesen Fällen nun mußte, je nachdem man die Platten in den doppelten oder dreifachen Abstand von einander versetzt (was mit besonderen Vorsichtsmaßregeln geschehen muß), die Kraft der Kette merklich auf die Hälfte oder das Drittheil sinken,

Digitized by Google

wenn außer dem Leitungswiderstande des Drahtes bloß der Leitungswiderstand der Flüssigkeit in der Kette vorhanden wäre, der durch jene Versetzung der Platten verdoppelt oder verdreifacht wird. Allein man findet bei vielen solchen Ketten, daß selbst eine viel stärkere Vergrößerung des Abstandes der Platten die Wirkung nur sehr wenig schwächt, so daß sowohl der Leitungswiderstand des Drahtes als der Flüssigkeit gegen einen dritten Widerstand verschwinden kann, der noch außerdem in der Kette vorhanden ist. Diese Ergebnisse erhält man nicht bloß in den späteren Wirkungsperioden der Kette, sondern auch wenn man ihre Kraft durch die ersten Oscillationen der Nadel unmittelbar nach ihrer Schließung bei verschiedenen Abständen und mit verschiedener Länge des Leitungsdrahtes mißt, nachdem man vor jeder neuen Schließung die Platten frisch gescheuert hat, oder selbst wenn man zu jedem neuen Versuche frische Platten anwendet. Dieser Widerstand nimmt vom Anfange des Geschlossenseins der Kette immermehr zu, wie man finden kann, wenn man die Versuche in verschiedenen auf einander folgenden Wirkungsperioden der Kette wiederholt, so daß er in spätern Perioden ein sehr großes Vielfache seines anfänglichen Werthes betragen kann, und daß alsdann sowohl der Widerstand der Flüssigkeit als des Drahtes gegen ihn merklich verschwinden können, wenn dieß auch zu Anfang der Schließung nicht der Fall war.

Was nun aber genauer die Gesetze betrifft, nach denen die Zu- oder Abnahme der nach den vorigen drei zu unterscheidenden Widerstände stattfindet, nämlich des Leitungswiderstandes der metallischen Theile der Kette, der Flüssigkeit und endlich des Ueberganges, so kann man Versuche hierüber nach Fechner's Anweisung wie folgt anstellen:

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze der Leitungswiderstand der Schließungsdrähte mit ihrer Länge zunimmt, beobachte man die Kraft einer Kette, welche auf gleichförmigen Zustand gekommen ist, wenn sie nur durch den Multiplicatordraht geschlossen ist. Hierauf bringe man in die Kette noch irgend eine Drahtlänge hinzu, deren Verhältniß zum Multiplicatordrahte man nicht zu wissen braucht, und beobachte um wie viel die Kraft der Kette durch diese Hinzufügung sinkt. Da bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft dieses Sinken der Kraft nur von Vermehrung des Leitungswiderstandes herkommen kann, so findet man durch jene Beobachtung die durch Zufügung des Drahtes entstandene Vermehrung des Leitungswiderstandes. Man hat nun nöthig, den Divisor aufzusuchen, durch welchen die erste Kraft sich in die zweite verwandelt; in diesem Divisor hat man dann das Maß für den Gesammtleitungswiderstand, der nach Hinzubringung der Drahtlänge in der Kette stattfindet, sofern der vor dieser Hinzubringung stattfindende, der ersten Kraft entsprechende Widerstand = 1 gesetzt wird. Dieser Divisor weniger 1 gibt folglich an, um wie viel der Widerstand durch Hinzufügung des Drahtes zugenommen hat, und in dieser Differenz erhält man folglich das Maß für den partiellen Widerstand des hinzugebrachten Drahtes, oder seines Verhältnisses zum Widerstande der Kette, welcher vor seiner Hinzubringung stattfand. Jetzt bringe man eine andere Drahtlänge in die Kette, deren Verhältniß zu der erst zugefüg-

Digitized by Google

ten Drahtlänge bekannt ist, und beobachte wiederum die hierdurch bewirkte Zunahme des Leitungswiderstandes. Man wird finden, daß sich die beobachteten Zunahmen des Leitungswiderstandes wie die Längen der (gleich dicken) in die Kette gebrachten Drähte verhalten. Anstatt bei den auf einander folgenden Zubringungen ungleich lange Drähte zu nehmen, kann man auch ungleich dicke Drähte wählen und wird dann finden, daß sich die Zunahmen des Leitungswiderstandes umgekehrt wie die Dicken der zugebrachten (gleich langen) Drähte verhalten. Zur näheren Erörterung der bei derartigen Beobachtungen anzustellenden Rechnungen dient folgendes Beispiel von Fechner.

Eine Kette aus Zink und Kupfer in salzsaurem Wasser, nach Art der S. 535 beschriebenen und abgebildeten angeordnet, wurde mittelst des Multiplicatordrahtes geschlossen, und nachdem sie über Nacht geschlossen gestanden hatte, so daß ein merklich gleichbleibender Zustand derselben eingetreten war, die Kraft derselben mittelst der Methode der Oscillationen gemessen. Sie war = 2,946 (die Kraft, mit welcher die Erde auf die Doppelnadel wirkte = 1 gesetzt). Es wurde jetzt, ohne die Kette zu öffnen, ein Draht von der vierfachen Länge des Multiplicatordrahts in die Kette hinzugebracht, was dadurch geschah, daß der kurze Zwischendraht l (Fig. 184.), dessen Leitungswiderstand im Verhältniß zum Multiplicatordraht vernachlässigt werden konnte, mit diesem Draht von der vierfachen Länge des Multiplicators vertauscht wurde. Die Kraft sank hierdurch auf 2,284. Nun verhält sich die erste Kraft zur zweiten wie $\frac{2,946}{1,000}$ zu $\frac{2,946}{1,309}$, wonach, da bei gleichgesetzter elektromotorischer Kraft der Leitungswiderstand stets dem Divisor der Kraft proportional ist, der = 1 gesetzte Leitungswiderstand der Kette durch Hinzufügung der vielfachen Drahtlänge um 0,309 zugenommen hat. Zu den vorigen Multiplicatorlängen wurden jetzt noch 6 eben solche Längen in die Kette gebracht und die Kraft sank hierdurch auf 1,690, welches gleich $\frac{2,946}{1,775}$ ist; mithin betrug die Zunahme des Leitungswiderstandes nach Hinzufügung von 10 Drahtlängen 0,775, während sie bei Hinzufügung der ersten 4 Drahtlängen bloß 0,309 betrug. Es verhält sich aber 0,775 zu 0,309 merklich genau wie 10 zu 4 oder wie die Drahtlängen selbst, und man kann sonach aus diesem Versuche schließen, daß der Widerstand der Leitungsdrähte im geraden einfachen Verhältniß ihrer Länge zunimmt. Man hat zugleich durch diesen Versuch gefunden, den wie vielsten Theil vom Gesammtwiderstande der Kette der einfache Multiplicatordraht, wenn er die Kette allein schloß, ausmachte; denn da 4 ihm gleiche Längen einen Widerstand = 0,309 und 10 Längen = 0,775 äußerten, so hat man nur von erster Größe das Viertheil, oder von letzterer den zehnten Theil zu nehmen, um den Widerstand Einer Drahtlänge, welche der des Multiplicators gleich ist, zu finden, welcher sich hiernach = 0,0773 oder = 0,0775 ergibt. Mithin wird bei bloßer Schließung durch den Multiplicator der Widerstand seines Drahts im Mittel 0,0774 und der Widerstand der übri-

Digitized by Google

gen Theile der Kette 1,000 — 0,0774, d. i. 0,9226 betragen haben. Die Data des vorigen Versuchs selbst waren folgende. Die Doppelnadel brauchte unter dem Einfluß der Erde 164 Zeittheile zu 20 Oscillationen; unter dem Einfluß der Kette, wenn sie bloß durch die einfache Multiplicatorlänge geschlossen war, 82 Zeittheile, nach Hinzufügung der vierfachen Länge 90,5 Zeittheile und nach Hinzufügung von noch der sechsfachen Länge (also bei 1 + 4 + 6 Längen) 100 Zeittheile. Durch Berechnung auf die S. 527 f. erörterte Weise findet man aus diesen Zahlen die vorhin angegebenen Kräfte.

Man findet also das Gesetz:

„Der Widerstand der metallischen Theile der Kette ist direct proportional der Länge derselben, umgekehrt proportional ihrem auf die Richtung des Stromes senkrechten Querschnitte (ihrer Dicke). Außerdem ist derselbe noch abhängig von der Temperatur und der Materie."

Durch Versuche hat ferner Fechner für die flüssigen Leiter der Kette das Gesetz gefunden:

„Der eigenthümliche Widerstand des flüssigen Leiters in der Kette ist proportional dem Abstande der Erregerplatten von einander in der Flüssigkeit, umgekehrt proportional der erregenden Oberfläche, wofern der Querschnitt der Flüssigkeit und die erregende Oberfläche in gleichem Verhältnisse wachsen."

Endlich für den sogenannten Widerstand des Ueberganges gilt folgendes:

„Der Leitungswiderstand des Ueberganges ist unabhängig von den Dimensionen der schließenden Leiter, aber scheint in geradem Verhältnisse des chemischen Effects, den die Erregerplatten erleiden, abzunehmen, wird daher geringer durch stärkere Leitungsflüssigkeit, ist geringer zu Anfang der Schließung, wo die Platten die stärkste Einwirkung erfahren, ist geringer für die positiven Platten, die immer stärker von der Flüssigkeit angegriffen werden als die negativen, nimmt endlich im geraden Verhältnisse der erregenden Oberfläche ab, insofern die Summe der chemischen Einwirkung auf die Platten im Verhältniß dieser Oberfläche zunimmt."

Wenn man bei einer Kette den Leitungswiderstand ihrer verschiedenen Theile vergleichen will, so nimmt man als Einheit denjenigen Leitungswiderstand an, welchen ein Draht von bestimmter Materie, Länge, Dicke (und Temperatur) äußert oder in die Kette gebracht äußern würde, und bestimmt nun den Widerstand der einzelnen Theile der Kette als Theile oder Vielfache dieser Einheit, oder was dasselbe, man gibt an, ein wie sich gegen den als Einheit angenommenen Draht der Länge nach verhaltender gleich dicker ꝛc. Draht, einen gleichen Widerstand leisten würde, wie die beobachteten Theile der Kette. Die Kraft der Kette wird sich nicht ändern, wenn man die einzelnen Theile derselben mit den ihnen hiernach entsprechenden Drahtlängen verwechselt. Ohm nennt daher den auf eine solche Einheit bezogenen Leitungswiderstand eines Theiles der Kette die reducirte Länge desselben.

Die Elektricität, welche man sich bei einer durch eine Flüssigkeit

Digitized by Google

geschlossenen Säule von einer Polplatte zur anderen übergehend denken kann, schlägt hierbei nicht den kürzesten graden Weg ein. Zwar ist in dieser Richtung die Elektr. am stärksten, aber es scheint auch nach allen Seiten Elektr. gleichsam auszustrahlen. Eine Menge von Versuchen bestätigen dieß. Förstemann tauchte z. B. in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure zwei Messingstreifen, welche an den Enden des Multiplicators befestigt waren, und zwischen beiden Messingstreifen wurde nun noch ein Zink- und ein Kupferstreifen so eingetaucht, daß sie mit keinem der Messingstreifen in Berührung kamen, einander aber außerhalb der Flüssigkeit metallisch berührten. Es erfolgte alsbald eine Ablenkung der Multiplicatornadel, so daß man sah, wie vom Kupferstreifen negative, vom Zinkstreifen positive Elektr. in die einem jeden dieser Streifen zunächst liegenden Messingstreifen überging, um sich durch den Multiplicatordraht auszugleichen. Hier also nahm alle erregte Elektr. offenbar nicht den nächsten Weg zwischen den beiden heterogenen in Berührung stehenden Metallen, sondern breitete sich in der Flüssigkeit auch nach den entgegengesetzten Richtungen von den Erregerplatten ab aus.

Wenn man in das Wasser einer hölzernen oder gläsernen Wanne von etwa 1 Fuß Länge und 2 bis 3 Zoll Breite die Drähte der zwei Pole einer Säule hineinführt, so zeigt ein empfindlicher Multiplicator, den man mit seinen, in ganz gleiche Platinstreifen ausgehenden Enden in die Flüssigkeit eintaucht, eine Abweichung der Magnetnadel, eine Wirkung, welche nur aus der Annahme erklärt werden kann, daß ein Theil des Stromes nicht in gerader Linie von einem Poldrahte zum andern durch die Flüssigkeit übergeht, sondern durch den Multiplicatordraht einen Abweg macht. Die Wirkung durch den Multiplicator auf die Magnetnadel ist am stärksten auf der beide Poldrähte verbindenden geraden Linie und nimmt auf dieser Linie zu in dem Verhältnisse, in welchem man von der Mitte aus dem einen oder dem anderen Polardrahte sich nähert. Die Strömung scheint aber auch (wofür auch der oben angeführte Versuch nach Förstemann spricht) durch die ganze übrige Flüssigkeit sich zu verbreiten und diese Verbreitung oder Zerstreuung scheint um so größer zu sein, je schlechter die Flüssigkeit leitet.

Pohl hat den Versuch von Förstemann mannigfach abgeändert wiederholt. Man fülle einen etwa 20 Zoll langen, 14 Zoll breiten und 4 Zoll hohen hölzernen Kasten abcd (Fig. 185.) mit verdünnter Schwefelsäure bis zum Rande an, stelle in der Nähe der inneren Querwand ab ein Paar Erregerplatten Z und K aus Zink und Kupfer hin, und in möglichst großer Entfernung von ihnen, neben der anderen Querwand cd in beliebiger Lage ein Paar Kupferplatten K′ und Z′. Letztere verbinde man durch den Draht des Multiplicators. Sind beide Kupferplatten K′ und Z′ völlig gleich beschaffen, so wird hierdurch keine Ablenkung der Nadel erfolgen, so lange man nicht zugleich noch die Erregerplatten K und Z durch einen Draht verbindet. Geschieht dieses aber, so wird sogleich die Nadel des Multiplicators, welcher K′ und Z′ verbindet, eine Ablenkung der Art zeigen, als ob K′ Kupfer und Z′ Zink wäre, so daß sonach ein Theil des durch die Schließung von Z und K entwickelten elektrischen Stromes auch durch den Verbindungs-

Digitized by Google

bogen von Z' und K' hindurchläuft. Dieser Antheil ist desto größer, je näher K' und Z' an Z und K gerückt werden.

Noch eine andere Anordnung des Versuches versinnlicht Fig. 186. Man nehme hier die durch den Multiplicator verbundenen Kupferplatten K' und Z' erst in der durch 1 bezeichneten Lage zur Seite der Erregerplatten und ihnen parallel, so wird, wenn diese durch einen Draht verbunden werden, die Ablenkung des Multiplicators so erfolgen, als ob Z' Zink und K' Kupfer wäre. Nun lasse man, ohne sonst irgend etwas zu verändern, die beiden Platten K' und Z' allmählig, der Wand a c parallel bleibend nach der Querwand c d hin fortrücken, so wird man die Ablenkung der Nadel allmählig geringer werden sehen, bis sie, wenn die Mitte der Kupferplatten eine bestimmte, vor den Rändern der Erreger hinlaufende Linie e f erreicht hat, gänzlich 0 geworden ist. Von diesem Punkte aus beginnt bei ferner fortgesetzter Bewegung der Kupferplatten K' und Z' in derselben Lage und Richtung, die Nadel abermals abgelenkt zu werden, aber die Ablenkung ist nun die entgegengesetzte von der vorhergehenden und nimmt zu, bis die Kupferplatte ganz diesseits der Linie e f wie z. B. in der Stellung 2 sich befindet.

Wenn die Pole einer Säule zugleich durch mehre ungleich dicke und lange Drähte mit einander verbunden sind, die vielleicht überdieß noch aus verschiedener Materie bestehen, so theilt sich der Strom beim Durchgehen durch diese Drähte und zwar nach Maßgabe des Leitungsvermögens der Drähte. Nach Ohm gilt im Allgemeinen in Bezug auf die Theilung des Stromes der Kette das Gesetz:

„Die Größe des Stromes in den verschiedenen Zweigen der Kette ist respectiv proportional ihrem Leitungsvermögen, so daß z. B. ein Draht, der vermöge seiner Kürze, Dicke und Materie doppelt so gut leitet als ein anderer (halb so großen Leitungswiderstand äußert), auch die doppelte Quantität Elektr. in gleicher Zeit durch jeden seiner Querschnitte hindurchlassen wird, als ein anderer, der nur halb so gut wie dieser leitet, wenn sie neben einander die Kette schließen."

Hiernach versteht es sich von selbst, und die Erfahrung bestätigt dieß, daß, wenn die Pole einer Säule z. B. durch zwei Drähte in Verbindung gesetzt sind, von denen der eine ein sehr vielmal größeres Leitungsvermögen als der andere besitzt, die Elektr. in diesem letzteren (beobachtet mittelst der Magnetnadel) fast Null werden wird.

Die gewöhnliche Art galvanische Säulen zu construiren beschreibt Fechner folgendermaßen:*)

Plattenpaare von Zink und Kupfer, gleichviel ob rund oder viereckig, gewöhnlich von der Größe eines Speciesthalers, werden so übereinander geschichtet, daß je zwei Plattenpaare allemal durch eine feuchte Papp- oder Tuchscheibe getrennt sind, und daß Zink und Kupfer immer

*) Ueber passende Constructionen einfacher Elektromotoren aus nur zwei, aber gewöhnlich großen Plattenpaaren s. d. Art. Elektromagnetismus S. 161 und d. Folg.

Digitized by Google

in der nämlichen Ordnung abwechseln. Man kann bei jedem Plattenpaare die Scheiben bloß über einander legen; zweckmäßiger ist es jedoch, sie zusammenzulöthen, weil die aus den feuchten Scheiben herausgedrückte Flüssigkeit sonst leicht zwischen Kupfer und Zink eindringt und durch Bewirkung partieller Schließungen ihre Wirksamkeit mindert. Die Papp- oder Tuchscheiben selbst werden vorher mit einer gut leitenden Flüssigkeit, z. B. mit einer Auflösung von Kochsalz in Essig, mit Salmiakauflösung, oder mit einer sauren Auflösung von solcher Stärke, daß Zink mäßig darin angegriffen wird, gut durchtränkt und so weit ausgedrückt, daß der Druck der oberen Scheiben auf die unteren keine Flüssigkeit aus ihnen zum Ausfließen und Herabfließen bringe. Deshalb darf man auch, wenn man eine Säule z. B. aus 100 Paaren, der Zahl, auf die man sich bei den gewöhnlichsten Versuchen beschränkt, anwenden will, diese nicht zu einer einzigen Säule aufschichten, weil sonst das Herausdrücken der Flüssigkeit aus den untersten feuchten Scheiben fast unvermeidlich sein würde, sondern man muß sie in wenigstens zwei kleinere neben einander stehende Säulen theilen, die man mit ihren ungleichnamigen Polen metallisch verbindet, wodurch, dem früher Erörterten zufolge, die eine Säule eigentlich nur zu einer Fortsetzung der anderen wird. Um der Säule Halt zu verleihen und sie am Umfallen oder Verschieben der Platten zu hindern, kann man sich eines Gestelles bedienen, welches aus drei parallelen überfirnißten Glasstäben besteht, die in einen Untersatz eingekittet sind und zwischen denen die Säule aufgeschichtet wird. Noch zweckmäßiger jedoch ist ein Gestell der Art, daß zwei gefirnißte hölzerne Säulen oben durch ein Querholz verbunden werden, durch welches man Schrauben gehen läßt, mittelst deren man auf die Gipfel der partiellen Säulen einen beliebigen Druck äußern kann. Diese Vorrichtung ist in Fig. 187. vorgestellt. Ohne die eine oder andere dieser Vorrichtungen ist es nicht möglich, auf bequeme Weise Versuche mit der Säule anzustellen. Die äußersten Platten der Säule, welche man Polplatten nennt, werden mit Löchern oder Haken versehen, um beliebig die Polardrähte einhängen zu können.

Schon früher wurde mit Anführung des Grundes bemerkt, daß es nicht nöthig ist Sorgfalt auf die Isolirung des Apparates zu verwenden, sobald man die Wirkungen der geschlossenen Kette beobachten will. Zwischen den partiellen Säulen darf jedoch allein nur diejenige Communication stattfinden, welche ihnen wesentlich zukommt.

Durch die Flüssigkeit überziehen sich die Metallplatten mit einer Oxydhaut, bis endlich die Wirksamkeit der Säule ganz aufgehört hat. Man muß sie dann aus einander nehmen und die Metallplatten reinigen, indem man sie mit einem Lappen und nassem Sande abreibt. Die Kupferplatten werden auch mit Branntweinspülicht gereinigt.

Eine passende Einrichtung eines Trogapparates gibt Berzelius an. Man verfertigt Tröge von Porzellan, die durch Zwischenwände in 10 bis 12 Fächer getheilt sind, wie Fig. 188. im Horizontaldurchschnitt darstellt. In London werden dergleichen Tröge von 14½ Zoll Länge und 6 Zoll Breite verfertigt, welche 10 Abtheilungen enthalten. In diese werden nun die Platten so eingesetzt, daß eine Kupfer und eine

Digitized by Google

Zinkplatte mittelst eines 1 Z. breiten Kupferstreifens (wie in Fig. 189.) mit einander verbunden und das Ganze so zusammengestellt wird, wie Fig. 190. zeigt. AB ist nämlich ein Stück trocknes und gefirnißtes Holz, an welches der Streifen eines jeden Plattenpaares festgeschraubt ist, so daß man alle Paare auf einmal aus der Flüssigkeit herausheben kann, wenn man den Versuch schließen will. Die Platten werden so in den Trog eingesetzt, daß die sie vereinigenden Streifen genau in die Mitte der Scheidewände zwischen zwei Fächer, und daß in jedes Fach eine Zink- und eine Kupferplatte zu liegen kommen, welche nur mittelst der darin befindlichen Flüssigkeit in leitender Gemeinschaft stehen.

Bei diesem Apparate kann man sich auch vortheilhafter statt der Fig. 189. abgebildeten Plattenpaare sogenannter Wollaston'scher Plattenpaare bedienen, wo der Zinkfläche von beiden Seiten eine Kupferfläche gegenübersteht (s. d. Folg.). Oersted und Stadion geben folgende Einrichtung an. Man läßt sich schmale parallelepipedische Tröge von Kupferblech machen, welche 10 Zoll hoch, 10 Zoll lang, aber nur $\frac{1}{2}$ Zoll breit sein dürfen, und setzt dieselben auf ein isolirendes hölzernes Gestell so neben einander, daß sie einander nicht berühren. Man setzt dann Zinkplatten von 9 Z. Seitenlänge dergestalt in die Tröge ein, daß sie das Kupfer an keiner Stelle berühren, und verbindet dieselben durch ein Querholz, wie bei den englischen Apparaten (AB Fig. 190.). Jede Zinkscheibe wird dabei nicht mit dem Kupfertroge, in den sie selbst taucht, sondern mit dem nächsten Kupfertroge in leitende Verbindung gesetzt, und Flüssigkeit in die Tröge gegossen.

Baumgartner gibt für den Gebrauch Volta'scher Säulen folgende allgemeine Regeln: Beim Gebrauch einer Volta'schen Säule hat man vor allen auf hinreichende Reinheit der Platten, besonders da, wo sie sich berühren, auf die innige Verbindung der einzelnen Theile und auf die Wahl des flüssigen Leiters Rücksicht zu nehmen. Beabsichtigt man eine anhaltende und möglichst gleichförmige Wirkung, so muß man eine Salzlösung anwenden; soll aber ein sehr starker, wenn auch schnell vorübergehender Effect hervorgebracht werden, so bedient man sich einer verdünnten Säure. Die Stärke derselben prüft man vorläufig mit einem Zinkstückchen, das man hineintaucht. Entwickelt es häufige Luftblasen, so ist die Säure zu stark und man muß mehr Wasser zugießen; ist gar keine Gasentwickelung bemerklich, so ist die Verdünnung zu stark; das rechte Maß hat man getroffen, wenn sich ganz feine kaum sichtbare Bläschen entwickeln, welche die Flüssigkeit selbst fast ganz absorbirt. Eine Mischung aus 100 Raumtheilen Wasser, 2 Theilen starker Schwefelsäure und 1 Theil Salpetersäure thut in den meisten Fällen gute Dienste; nur wenn die flüssige Schicht gar hoch ist, läßt man die Schwefelsäure ganz weg und nimmt dafür 1 Theil Salpetersäure, weil sonst die Wasserstoffgasblasen, welche sich während des Ganges des elektrischen Stromes immer reichlich entwickeln, leicht ein zu starkes Aufschäumen der Flüssigkeit bewirken und ein Ueberlaufen derselben verursachen. Auf ein geringes Aufbrausen der Flüssigkeit muß man aber unter allen Umständen rechnen, und darf deßhalb nicht die Zellen bis auf den Rand anfüllen. — Wird die Säule aus mehrern Partien zusammengesetzt, so

Digitized by Google

müssen sie leitend mit einander verbunden werden. Als Verbindungsmittel braucht man am besten starken (1—2 Lin. dicken) Kupferdraht, der mit den Endplatten der Theile, welche an einander grenzen, innigst in Berührung gebracht wird. Selten ist es hinreichend, den Draht nur an die Platten anzudrücken, besser thut man, wenn man die Communication mittelst Queckſilber herstellt. Daß man bei der Stellung der einzelnen Theile die rechte Ordnung treffen und jede Berührung zwischen den Platten verschiedener Elemente vermeiden müsse, ist für sich klar. Die Stellung der einzelnen Tröge oder Kapseln muß so beschaffen sein, daß die beiden Pole einander gegenüber und etwa 1—2 Fuß von einander entfernt sind. — Wenn eine Voltaſche Säule zum Versuch vorbereitet ist, so muß man vor allem andern untersuchen, ob die Kette nirgends unterbrochen sei. Zu diesem Ende wird ein hinreichend dicker Kupfer- oder Platindraht mit dem positiven Pole der Säule in leitende Verbindung gebracht und jede der Kupferplatten nach der Ordnung, wie sie vom Zinkpole aus auf einander folgen, mit dem Ende desselben berührt; da muß sich ein Funke zeigen und immer stärker werden, je weiter die betreffende Kupferplatte vom Zinkpol absteht.

Wie bei der Reibungselektricität bei der Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten Wärme und Feuererscheinungen auftreten, so treten ähnliche Erscheinungen auch bei der Berührungselektricität auf, überall wo die Vereinigung der Elektr. durch unvollkommene Leiter hindurch geschieht. Man kann durch passende Vorrichtungen mit Hülfe der galvan. Elektr. die allergrößten Hitzgrade hervorbringen, welche Körper zu verflüchtigen im Stande sind, die sonst sehr bedeutenden Hitzgraden widerstehen. Sowohl mit einfachen Elektromotoren als mit Voltaſchen Säulen lassen sich die Wärmeerscheinungen hervorbringen.

Um Funken zu erzeugen bediene man sich einer Säule aus ungefähr 100 Plattenpaaren von etwa 4 Quadratzoll Oberfläche, oder aus 30 Plattenpaaren von 1 Quadratfuß Oberfläche. Bei Schichtung der Säule wende man eine stark wirksame Flüssigkeit, z. B. Salmiakauflösung an. Sobald man bei einer solchen Säule die entgegengesetzten Pole durch einen Draht verbindet, sowohl wenn man vom positiven zum negativen als wenn man umgekehrt vom negativen zum positiven Pole schließt, erscheint im Augenblicke der Berührung ein von einem Geräusch begleiteter deutlich wahrnehmbarer Funken. So oft man die Berührung aufhebt und wieder erneuert, tritt auch dieser Funke immer aufs neue ein. Ist an das Ende des Drahtes ein feines Metallblättchen befestigt worden, so verbrennt dasselbe bei der Berührung des Poles. Auch bei der Wiederöffnung einer Säule von 224 Plattenpaaren will Ritter Funken beobachtet haben, die aber kleiner als die bei Schließung der Säule waren.

Anstatt mit dem von einer Polplatte ausgehenden Drahte unmittelbar die andere Polplatte zu berühren, kann man auch mit demselben an einem von den anderen Polplatten ausgehenden Drahte die Schließung bewirken. Auch in diesem Falle treten Funken auf. Am bedeutendsten sind die Funken, wenn der Draht fein oder zugespitzt ist. Sowohl hinsichtlich der Größe als der Farbe sind die galvanischen Funken

Digitized by Google

gemäß der Verschiedenheit des Apparates, der Beschaffenheit und Form der Metalle u. s. w. verschieden. Bei Anwendung feiner Eisendrähte oder Stahldrähte ist der Funke kreisförmig umhersprühend und ähnelt bei größter Intensität einer strahlenden Sonne. Dagegen geben Platindrähte Funken ohne Strahlen. Geht von dem einen Pol einer starken Säule ein Eisendraht aus, während ein Draht von dem anderen Pole in Quecksilber taucht, so erscheint ein vorzüglich schöner Funken, wenn man mit dem ersten Drahte die Oberfläche des Quecksilbers berührt. Der Mittelpunkt des Funkens erscheint blau, und von da aus sprühen rothe Strahen von ungleicher, bei starken Säulen oft mehre Zoll betragenden Länge nach allen Seiten. Ritter bediente sich einer Säule von 224 Plattenpaaren; vom posit. Pole aus ging ein Eisendraht in Quecksilber, in einiger Entfernung vom posit. Drahte wurde das Quecksilber mit dem Drahte des negat. Poles berührt, es zeigte sich der angegebene Funke und zugleich bildete sich ein der Lichtenbergschen Figur (s. d. Art. Figur, Lichtenbergsche) ähnlicher Stern von schwarzem Quecksilberoxyd. Wurde hingegen mit dem posit. Drahte geschlossen, so wurden außer dem vom vorigen etwas abweichenden Funken noch Punkte, Ringe, runde Flecke, überhaupt rund begrenzte Gestalten (also ähnlich den negat. Lichtenbergschen Figuren) erzeugt. Nach Fourcroy findet in den irrespirablen (unathembaren) Gasarten kein Funkensprühen, sondern nur Glühen der Eisendrähte statt.

Gut ausgebrannte Kohle, namentlich Lindenkohle, wirkt besonders günstig zur Erzeugung von Funken. Der eine Pol der Säule wird mit einer Kohlenscheibe bedeckt (über welche Brugnatelli noch ein Blattgold legt), und von dem anderen Pole aus mit einem Metalldrahte oder mit einem Metallblättchen geschlossen. Auch können an die Polardrähte Kohlenspitzen angebracht und sie dann in Berührung mit einander gebracht werden. Nur Silberamalgam soll noch mehr als die Kohle geeignet sein Funken zu erzeugen. Brugnatelli hat hierüber Versuche angestellt. Legt man solches Amalgam auf die obere Endplatte einer Säule oder auf eine Kohle, welche auf dieser Platte liegt, und schließt nun am Silberamalgam mit irgend einem Metallbogen, so erhält man dicke und sehr glänzende Funken von dem schönsten Lasurblau. Das Blattgold verbrennt auf diesem Amalgam mit außerordentlicher Schnelligkeit und fortwährend sprühen Funken in Menge längs der Linie der Berührung. Das Schauspiel wird noch prachtvoller, wenn man einen Streifen Blattgold auf das Amalgam legt.

Das Verbrennen von Metallblättchen wird am vortheilhaftesten so bewerkstelligt, daß man an einem gebogenen Drahte des einen Pols die Metallblättchen anhängt, und damit eine Quecksilberfläche, oder, wie angegeben wurde, eine mit Blattgold bedeckte Kohlenfläche, oder überhaupt eine mit dem anderen Pol in Verbindung stehende Metallfläche berührt. Sartorph gibt folgendes Mittel an. Man versieht das oberste Ende der Batterie mit einem frei schwebenden Goldblatte, schwärzt eine Metallplatte über dem Lichte und führt, nachdem man diese mit dem untersten Ende der Batterie durch eine feine Klaviersaite in Verbindung gesetzt, die geschwärzte Seite gegen das Ende des Goldblätt-

chens. Bei diesem Verbrennen zeigen die verschiedenen Metallblättchen eine verschiedene Farbe. Singer und Simon haben hierüber Versuche angestellt. Goldblätter verbrennen mit lebhaft weißem, blau nüancirten oder gelblich weißem Lichte mit Hinterlassung eines rothbraunen Staubes; Silberblättchen mit smaragdgrüner Farbe mit rothgelben Rändern und Zurücklassung eines dunkelgrünen Pulvers; Kupfer mit bläulichweißem Lichte, begleitet von rothen Funken. Die Schlagweite des galvanischen Funkens ist auch bei den kräftigsten Säulen sehr gering. Children bediente sich zur Messung der Schlagweite eines an die Platinspitzen angebrachten Mikrometers, die in einen mit sehr trockener Luft gefüllten Recipienten eingelassen waren. Bei 1250 Plattenpaaren erschien der Funke nicht eher, als bis die Spitzen bis auf $\frac{1}{50}$ Zoll genähert waren. Bei dem großen Apparate der Royalinstitution von 2000 vierzölligen Plattenpaaren mußten die Kohlenspitzen bis zu $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{40}$ Zoll genähert werden, ehe sie irgend ein Licht zeigten, wenn sie aber intensiv glühten, so spielte fortwährend ein anhaltender Lichtstrom zwischen ihnen, wenn man sie auch nach und nach bis zu 4 Zoll Weite von einander entfernte. Der Lichtstrom erschien in Gestalt eines Bogens, in der Mitte breit und gegen die Kohlenspitzen schmal zulaufend. Er war von einer intensiven Hitze begleitet und entzündete augenblicklich jede in ihn gebrachte Substanz. Diamantstücke und Reißbleispitzen verschwanden und schienen zu verdunsten. Dicke Platindrähte zerschmolzen schnell in große Kügelchen; Saphir, Quarz, Talk und Kalk kamen in offenbaren Fluß. Befanden sich die Kohlenspitzen in durch die Luftpumpe verdünnter Luft, so erfolgten die Wirkungen noch lebhafter. Der Lichtstrom spielte zwischen den Spitzen noch in einem Abstande von 6 Zoll, er dauerte Stundenlang fort, ohne daß die Kohle um eine merkliche Quantität sich verminderte.

Children, Silliman und Hare haben namentlich mit sehr großplattigen Apparaten ähnliche Beobachtungen über die galvanischen Wärmeerscheinungen angestellt. Kohle und Graphit, welche bis dahin für unschmelzbar gehalten wurden, erfuhren deutlich eine theilweise Schmelzung, welche sogar diamantähnliche Producte lieferte, und wurden in Gestalt eines weißen Rauches verflüchtigt. Der am Zinkpole befestigte Theil Graphit oder Holzkohle zeigte stets eine kegelförmige Höhlung, wogegen das am Kupferpole angebrachte Stück eine Verlängerung annahm. Hiernach mußte in der Richtung des Stromes vom Zinkpole zum Kupferpole ein Fortführen von Kohlentheilchen stattgefunden haben.

Bei den Versuchen über das Schmelzen und Erglühen von Metalldrähten kann man sich vortheilhaft der sogenannten Wollaston'schen Platte bedienen, die Biot beschreibt. ZZ (Fig. 191.) ist eine (von der schmalen Seite gesehene) rechteckige Zinkplatte, die 5 bis 6 Zoll in der Breite und doppelt so viel in der Länge hält. Um diese schlage man ein Kupferblatt CCCC und halte beide durch Wülste von Harz auseinander, so daß das Zink das Kupfer nirgends berührt. Bei O, O, O in dem unteren Theile der Kupferplatte sind Löcher angebracht, um dem flüssigen Leiter den Zutritt zur Zinkplatte zu erleichtern. Die Zinkplatte hat an einer Seite einen gleichfalls aus Zink bestehenden Ansatz m, an

Digitized by Google

welchem parallel mit der Richtung der Platte ein kupferner Arm t befestigt ist; ein gleichfalls kupferner Stab t', an der äußeren Oberfläche der Kupferplatte befestigt, erhebt sich in einer auf den Arm t senkrechten Richtung, so daß die Enden beider ungefähr 5 Linien von einander entfernt sind. Soll dieser Apparat einen Draht ins Glühen versetzen, so vereinigt man letztere Enden durch einen Platindraht f von ungefähr $\frac{1}{10}$ Linie Dicke und taucht die Platten in eine stark leitende Flüssigkeit, z. B. eine Mischung von 1 Volumtheil Schwefelsäure, 1 Volumtheil Salpetersäure und 50 bis 60 Volumtheile Wasser. — Für dickere Drähte müssen übrigens auch die Platten größere Dimensionen haben, können dagegen für dünnere Drähte noch kleiner sein. Man kann mehre Wollastonsche Plattenpaare leicht zu Einer Kette verbinden. Biot empfiehlt die Fig. 192. abgebildete Einrichtung, wo diese Plattenpaare an einem gemeinschaftlichen Balken befestigt sind, in untergesetzte Gläser mit saurer Flüssigkeit eingetaucht und beliebig wieder herausgezogen werden können. Je nach der Verbindungsart kann man diesen Apparat als einen vielplattigen oder als einen großplattigen wirken lassen. Vergl. S. 497.

Einen sehr kleinen Wollastonschen Apparat hat Wollaston selbst zuerst hergestellt, derselbe ist unter dem Namen des Fingerhutapparats bekannt. Pfaff theilt folgende Beschreibung desselben mit. Wollaston verfertigte sich ursprünglich seinen Apparat (Fig. 193.) in seinen kleinsten Dimensionen aus einem silbernen Fingerhute, aus welchem er den Boden herausgenommen und dessen beide gegenüberstehende Wände er dann platt gedrückt hatte, so daß sie nun nur noch etwa 2 Linien von einander abstanden. Sie hatten unten eine Breite von ungefähr 1 Zoll, oben von 0,8 Zoll und ihre Höhe betrug nicht über 0,9 Zoll, daher eine Zinkplatte, welche bestimmt war, in den abgeplatteten Fingerhut hineingeschoben zu werden, nicht ganz eine Größe von 0,75 Quadratzoll haben durfte. Bevor die Zinkplatte hineingeschoben wurde, löthete er an sie einen kleinen Apparat von Drähten fest, welcher dazu bestimmt war, den galvanischen Kreis hervorzubringen. Darauf versah er die Seitenwände dieser Platte mit Siegellack, welches zur Befestigung derselben an die innern Seiten des Fingerhutes diente, und verhinderte, daß beide Metalle nicht in unmittelbare metallische Berührung mit einander kamen. An die beiden Ecken des oberen Randes des abgeplatteten Fingerhutes wurde ein hinlänglich dicker und gehörig gebogener Draht mit seinen beiden Enden angelöthet. Er diente sowohl als Handhabe für den Apparat, an welcher man denselben während des Versuches halten konnte, als auch als Gestell, an dem sich die von der Zinkplatte ausgehenden Verbindungsdrähte fest machen ließen. Dieser leitende Theil des Apparats bestand erstlich aus zwei Platindrähten von $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser, jeder 1 Zoll lang, und zweitens aus einem anderen höchst feinen Verbindungsdrahte von Platin. Jene beiden Drähte wurden an zwei verschiedenen Stellen durch Glaskügelchen so an einander befestigt, daß von jedem das eine Ende mit der Mitte des anderen durch Glas zusammenhing, und darauf wurden sie verzinnt, sowohl an ihren Enden, um damit an die Zink-

Digitized by Google

platte und an den zum Griff dienenden Silberdraht angelöthet zu werden, als auch an den Theilen, welche in ihrer Mitte parallel neben einander lagen und wo der von Wollaston zuerst dargestellte höchst feine Verbindungsdraht angebracht werden sollte. Wollaston brachte dann auf die Punkte, wo der feine Platindraht die vorher genannten dickeren Drähte berühren sollte, ein Atom Salmiak und dann ließ sich das Löthen ohne Schwierigkeit bewerkstelligen, die beiden freien Enden des Drahtes mit den kleinen Silberknöpfchen an ihnen, vermittelst deren sie straff angezogen werden, ließen sich alsdann leicht fortnehmen. Die beiden dickeren Platindrähte müssen einander in der Mitte so nahe wie möglich sein, damit man die Länge des feinen Verbindungsdrahtes bis auf $\frac{1}{50}$ ja $\frac{1}{50}$ eines Zolles herabbringen kann, wovon das Gelingen des Versuchs wesentlich abhängt. Die Fig. 193. stellt den Apparat eingetaucht in die Säure LL vor, wie er sich aus einem seitwärts oder höher liegenden Augenpunkte darstellt. BCDE ist die vordere Fläche des abgeplatteten Fingerhutes, in welchen man von oben her bei BC hineinsieht. Den besonders gezeichneten Grundriß des oberen Randes zeigt noch deutlicher die Platte in der Mitte. BAC ist der an dem obern Rande angelöthete zum Henkel dienende Silberdraht und ZA stellt die beiden stärkern Platindrähte vor, von denen der eine an die Zinkplatte in Z, der andere an den silbernen Henkel in A angelöthet ist; jedes derselben geht durch eines der Glaskügelchen durch und endigt in dem anderen. Der ganz feine Platindraht ist zwischen dem Glaskügelchen auf den beiden dickeren Platindrähten angelöthet und durchschneidet sie senkrecht, er ist zu fein, als daß der feinste im Kupferstiche noch sichtbare Strich nicht noch viel zu grob wäre, um ihn richtig darzustellen, daher man ihn in der Figur nicht sieht. Die Säure, welche Wollaston zu dem Versuche mit diesem Apparate gebraucht, besteht aus einem Maß Schwefelsäure und 50 Maß Wasser. In diese taucht er den Apparat bis beinahe an den oberen Rand der Platte hinein und sogleich glüht der feine Platindraht. Zwar bleibt er nicht dauernd glühend, aber doch mehre Secunden lang, wenn man ihn eingetaucht läßt. Pfaff besitzt einen ganz ähnlichen Apparat, zu welchem die gegebene Figur vollkommen paßt, nur daß dem abgeplatteten silbernen Fingerhute gleichsam ein Mantel von Kupfer substituirt ist und die dicken Drähte, zwischen welchen der feine Platindraht sich befindet, von Silber sind. Letzterer ist so fein, daß er nur durch Hülfe einer guten Loupe gesehen wird. In Salzsäure eingetaucht glüht der Draht im Dunkeln sehr stark roth und erscheint dann von einem merklichen Durchmesser. Doch nimmt das Glühen schnell ab und nach 1 oder 2 Secunden hört es gänzlich auf.

Je größer die Oberflächen der Metalle sind, welche zugleich mit dem feuchten Leiter in Verbindung kommen, ein desto längerer und dickerer Draht kann mittelst des Apparates zum Glühen gebracht werden. Hare construirte einen in dieser Beziehung besonders wirksamen einfachen Elektromotor, welchem er den Namen Deflagrator (lat., Entzünder) oder Calorimotor (lat., Wärmeerreger) nannte. Später bediente sich Hare mit noch größerem Erfolge einer besonders dazu

Digitized by Google

eingerichteten Voltaschen Säule. Hare's einfacher Elektromotor hatte folgende Einrichtung. Zwanzig Kupferplatten und 20 Zinkplatten von ungefähr 19 Quadratzoll Größe waren senkrecht in einen Rahmen befestigt, so daß die beiderlei Metallflächen einen halben Zoll weit von einander abstanden. Alle Platten von einerlei Metall waren an einen Streifen gelöthet, so daß alles Metall von einer Art eine fortlaufende Fläche ausmachte. Wenn die auf solche Art vorgerichtete Kupfer- und Zinkfläche dann mit einem verbindenden Draht versehen wurde, der den Kreis schloß und das Ganze in einem nicht leitenden Gefäße in eine Säure oder essigsaure Auflösung von Kochsalz eingetaucht wurde, so ward der Draht glühend und das Wasserstoffgas, welches sich entwickelte, entzündete sich und gab eine schöne wellenförmige Flamme. Wenn dagegen, statt die Platten auf diese Art abwechseln zu lassen, alle Zinkplatten auf die eine, und alle Kupferplatten auf die andere Seite des Rahmens gebracht wurden, so war die Wirkung aller nicht größer wie die eines einzigen Plattenpaares. Noch besser und in einem kleineren Raume wird der Zweck, die Platten mit der größtmöglichen Oberfläche einander so nahe wie möglich zu bringen und den Zwischenraum der Schicht des flüssigen Leiters so gering als möglich zu machen, erreicht, wenn man sie in zwei concentrische Windungen oder Spiralen gebracht anwendet. Der verbindende Eisendraht kam noch in das stärkste Glühen, wenn er auch eine Dicke von $\frac{1}{8}$ Zoll hatte, und Platindraht von einem Durchmesser von No. 18 wurde geschmolzen. Als leitender Flüssigkeit bediente sich Hare gewöhnlich eines Gemisches von 1 Theil Schwefelsäure, mit 2 Theilen Kochsalz und 7 Theilen Wasser, zu seinem Erstaunen erhielt er aber mit einer durch den Geschmack kaum zu erkennenden alkalischen Lösung beinahe Weißglühhitze und nach seinen Beobachtungen übertraf eine stärkere alkalische Lauge beinahe alle übrigen Flüssigkeiten.

Den größten Deflagrator von ähnlicher Art brachte Children in Anwendung. Seine Platten hatten eine Länge von 6′ und eine Breite von 2′ 8″, folglich von beiden Seiten 32 Quadratfuß, die Zahl der Zinkplatten war 16 und die der Kupferplatten 32, indem jede Zinkplatte von 2 Kupferplatten umgeben war (sie hingen an einem Rahmen, der durch Seile und Rollen mit leichter Mühe niedergelassen werden konnte und wurden in Tröge von gut überfirnißtem Holze eingetaucht). Um nun diese Voltasche Batterie, die aus 16 Abwechselungen bestand, in ein einziges Plattenpaar oder in einfaches Säulenelement zu verwandeln, zerschnitt Children die Bleistreifen, durch welche die Zinkplatten mit den Kupferplatten in jedem der einzelnen Elektromotoren verbunden waren, und verband alle Zinkplatten durch Bleistreifen so miteinander, daß sie eine einzige Platte von $21 \times 32 = 672$ Quadratfuß Oberfläche vorstellten; dieselbe Anordnung traf er mit allen Kupferplatten, deren Oberfläche also, wie in dem kleinen Wollastonschen Elektromotor, doppelt so groß war, wie die Zinkoberfläche. Diese beiden ungeheuern Metallflächen wurden nun auf gleiche Art, wie bei dem Wollastonschen Apparate, durch einen feinen Platindraht von $\frac{1}{1000}$ Zoll Durchmesser und $\frac{1}{10}$ Zoll Länge verbunden. So

Digitized by Google

zugerichtet wurde dieser einfache Elektromotor in jenen Trögen in die Flüssigkeit, die aus 50 Theilen Wasser, $\frac{1}{2}$ Theilen Salpetersäure und $\frac{1}{4}$ Theil Schwefelsäure bestand, heruntergelassen, es war aber nicht die geringste Spur von Glühen des kleinen verbindenden Platindrahtes zu bemerken.

Pfaff sucht den Grund dieser auffallenden Erscheinung in einer zu starken Wirkung einer zu großen Quantität von Elektr., durch welche der Draht gleichsam zerstört, d. h. in Dampf verwandelt wurde, grade so wie zu heftige Entladungen großer Batterien einen dünnen Eisendraht nicht zum Glühen oder zum Schmelzen zu vielen glühenden Kügelchen bringen können, weil sie ihn augenblicklich in Dampf verwandeln.

Nach Art des Hareschen einfachen Elektromotors aus spiralförmig aufgerollten Platten ist der von Offerhaus angegebene Apparat. Die punktirte Linie (Fig. 194.) stellt die Platte von dünnem Messingbleche dar, welche 4,6 Meter (ungefähr 15 Fuß) lang und 0,41 (ungefähr 1,3 Fuß) breit ist, und mit ihrem einen Ende an den hölzernen Stab C angenagelt ist, welcher der Spirale zum Kerne dient. Die ausgezogene Spirale stellt die eben so breite, aber nur 3,73 Meter (etwas über 12 Fuß) lange Tafel gewalzten Zinks vor. Beide werden durch zwei Gitter, verfertigt aus Weidenstäben, die 2,25 Lin. von einander abstehen, und aus gemeinem Bindfaden, außer Berührung mit einander gehalten. Auf die Messingtafel wird, nachdem sie an dem hölzernen Stabe befestigt ist, das eine Gitter, auf dieses die Zinktafel und auf sie das zweite Gitter gelegt, dann alles zusammengerollt, was sich ohne Schwierigkeit bewerkstelligen läßt, die Rolle hinlänglich mit einer Hanfschnur umwickelt und in den cylindrischen hölzernen Trog DD, welcher mit säuerlichem Wasser gefüllt ist und nur einen Durchmesser von 13,5 Zoll hat, gesetzt. An den Enden der beiden Platten sind Drahtarme, an welchen man mittelst des Drahtstabes AB schließt. Dieser Apparat soll das Wasser nicht zersetzen, auch keine anderen chemischen Wirkungen (s. d. Folg.) zeigen, aber den 5 Millimeter (2,5 Linien) dicken Schließungsdraht merklich warm machen, und einen $\frac{1}{4}$ Millim. dicken Platindraht, der zwischen die beiden Platten gebracht ist, zum Rothglühen bringen. Pfaff meint, dieser Apparat würde ohne Zweifel noch viel größere Wirkung hervorbringen, wenn die Zinkplatte, wie in dem Wollastonschen Apparate, von einer doppelten Messingplatte umschlossen wäre und man würde dieselbe Wirkung bei unveränderter Messingplatte erhalten, wenn man auch eine 6 bis 8 mal schmälere Zinkplatte, wie die Messingplatten, in Anwendung brächte.

Das Glühen des Verbindungsdrahtes zwischen den Platten eines solchen Deflagrators hört auf, wenn die saure Flüssigkeit einige Augenblicke gewirkt hat, man kann aber die glühendmachende Kraft des Apparates wieder herstellen, wenn man denselben einige Zeit aus der Flüssigkeit entfernt. Nach Hare's Beobachtung findet indeß diese Wiedererlangung der glühendmachenden Kraft des Elektromotors nicht statt, wenn nach der Entfernung aus der Säure das Plattenpaar von Hydrogengas, Salpetergas oder von kohlensaurem Gase umgeben ist. Dagegen

Digitized by Google

erlangt es diese Kraft in Chlorgas und Oxygengas ungefähr in derselben Zeit wieder, wie in atmosphärischer Luft.

Die Zeit während welcher das Glühen fortdauert ist je nach Beschaffenheit der Apparate sehr verschieden von nicht einer Secunde bis zu mehren Stunden. Das Abnehmen des Glühens eines vorher in seiner ganzen Länge glühenden Drahtes geschieht so, daß der glühende Theil nach der Mitte zu immer mehr sich zusammenzieht, bis zuletzt nur noch ein Punkt grade in der Mitte des Drahtes glühend erscheint. Nach de la Rive's Beobachtungen werden bei einem Strome, der nicht stark genug ist, um die in die Kette gebrachten Drähte in ihrer ganzen Ausdehnung in Glühzustand zu versetzen, die Drähte nur an den Einhängepunkten glühend. Im Allgemeinen werden, wenn man aus mehren an einander gefügten, entweder homogenen oder heterogenen Metalldrähten einen Leiter bildet, jedesmal die den Berührungspunkten zunächst liegenden Portionen am meisten erhitzt und allein glühend, im Fall daß die Säule nicht stark genug ist, um die ganze Kette zum Glühen zu bringen.

An einem nicht glühenden durch Wasser geleiteten Schließungsdrahte hat Pictet durch Thermometerbeobachtungen dem obigen entsprechend nachgewiesen, daß die Erhitzung des Drahtes von den Enden nach der Mitte zu abnimmt. Ferner ist die Wärme am (posit.) Zinkpole stets größer als am (negat.) Kupferpole, vielleicht weil Kupfer die Wärme besser als Zink leitet. Nobili nahm eine Zink- und eine Kupferplatte, die eigens so eingerichtet waren, daß jede in einer dazu bestimmten Höhlung mitten in ihrer Masse ein Thermometer aufnehmen konnte, setzte beide mit den Drähten eines Multiplicators in Verbindung, füllte die Höhlen für die Thermometerkugeln mit Quecksilber vollends aus und befestigte hierauf beide Platten in verticaler Stellung auf dem Boden eines Gefäßes, in das er mit Wasser verdünnte Säure goß. Die Temperatur dieses Wassers wurde von einem dritten Thermometer angegeben. Unter diesen Umständen erhielt er folgende Temperaturangaben:

Zeit der Beobachtung.	Thermometerstand a im Zink.	b im Kupfer.	c im Wasser.	Grade des Multiplicators.
nach 0 Min.	11°	11°	11°	69°
" 2 "	15°½	11°½	13°	63°
" 4 "	18°½	13°	17°	61°½
" 6 "	20°¼	15°	19°	61°
" 8 "	22°½	16°½	21°	61°
" 10 "	23°½	18°	22°	61°
" 12 "	24°½	19°	23°½	61°
" 14 "	24°¾	30°	24°½	61°
" 16 "	25°	20°	25°	61°
" 18 "	25°	20°	25°	61°
" 20 "	24°½	20°	25°	60°
" 22 "	24°	20°	11°½	60°

Digitized by Google

Man sieht, wie die Temperatur des Zinks stets höher als die des Kupfers ist. Die Flüssigkeit ist anfangs kälter als das Zink, gegen das Ende aber werden beide gleich. De la Rive stellte Beobachtungen an einem durch Wasser geleiteten Schließungsdrahte eines Trogapparates an und fand, daß die Wärme erzeugende Wirkung am posit. Pole zu der am negat. sich verhält wie 69 : 105.

Daß nicht sowohl die Vermehrung der Anzahl zu einer Säule verbundenen Platten die Wärmeerscheinungen des Galvanismus verstärke, sondern vielmehr eine Vergrößerung der Oberfläche der in Verbindung gesetzten Metallplatten, haben zuerst Fourcroy und Vauquelin durch Versuche im Nationalinstitute von Frankreich nachgewiesen. Dieselben erhielten von einer Säule aus 8 Kupfer- und Zinkplatten von Einem Fuß Durchmesser mit Salmiakauflösung gebaut, keine größere Erschütterung als von einer Säule, deren Metallplatten nur 2 Linien im Durchmesser hatten und welche gleichfalls nur aus 8 Plattenpaaren bestand; dagegen gaben zwei Eisendrähte von ihren beiden Polen aus mit einander in Berührung gebracht, größere Funken als bei Säulen von 100 bis 120 Plattenpaaren von 1 Zoll, und in Sauerstoffgas sprühten diese Sonnenfunken mit der größten Lebhaftigkeit. Man hat verschiedene Versuchsreihen angestellt, um auszumitteln, welches das eigentliche Verhältniß sei, in welchem die Größe der Oberfläche mit der Größe der Wärme erregenden Wirkung steht, ist aber zu sehr verschiedenen Resultaten gelangt. Von zwei Trogapparaten z. B. von denen jeder aus 50 Plattenpaaren bestand und die mit verdünnter Salpetersäure in Thätigkeit gesetzt waren (so daß $\frac{1}{24}$ Salpetersäure in dem Wasser enthalten waren), schmolz der eine mit Platten von 8 Zoll Seite 16 Zoll eines Eisendrahtes von $\frac{1}{75}$ Zoll Dicke, wogegen der andere mit Platten von nur 4 Zoll Seite nur $\frac{1}{3}$ Z. schmolz. Wilkinson fand, daß ein Zellenapparat von 400 Platten von 4 Z. Seite 2 Z. Eisendraht von $\frac{1}{75}$ Z. Dicke schmolz, daß dagegen ein Zellenapparat von nur 100 Platten, deren Seite aber 8 Zoll hatte (wonach im Ganzen die Oberflächen beider Apparate gleich, der erste aber vielschichtiger, der zweite breitschichtiger war), 32 Z. desselben Drahtes schmolz. Nach dieser Beobachtung würden sich die Wirksamkeiten zweier galvanischen Säulen, bei welchen sich im Ganzen gleich große Metalloberflächen in elektromotorischer Thätigkeit befänden, von denen aber die eine aus mehren Schichten kleinerer Platten, die andere aus weniger Schichten größerer Platten bestände, sich hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beim Glühendmachen von Drähten verhalten, wie das Quadrat der Oberfläche ihrer einzelnen Platten. Doch kann man dieses Gesetz nicht als ein allgemein gültiges annehmen, weil die Versuche ausgezeichneter Physiker nicht mit demselben übereinstimmen. So führt Pfaff an, daß nach Wilkinson's Gesetze, wenn 32 fünf Zoll haltende Platten Zink und Kupfer so gelegt würden, daß sie nur eine Säule von 8 Abwechselungen aber 10 Zoll Seite bildeten, eine 16 mal so große Wirkung hervorgebracht werden müsse, als wenn man dieselben 32 Platten zu Einer Säule von 32 Abwechselungen aufschichtete. Es fand sich aber bei Anstellung des Versuches, daß vielmehr die letztere Säule kräf-

Digitized by Google

tiger im Drahtschmelzen gefunden wurde. Sie schmolz nämlich 5 Zoll Eisendraht No. 16 und machte 7 Zoll rothglühend, während jene nicht einmal 3 Zoll glühend machte. Bei Erbauung beider Säulen wurden mit Salmiakauflösung getränkte Tuchscheiben als Zwischenleiter angewendet. Cuthbertson schloß aus seinen Versuchen, daß das Vermögen Draht zu schmelzen im einfachen Verhältnisse mit den Oberflächen der Platten bei gleicher Anzahl derselben stehe. Derselbe verband nämlich zwei Trogapparate, jeden von 30 Plattenpaaren, 6 Zoll ins Gevierte so mit einander, daß sie eine einzige Batterie mit doppelt so großer Oberfläche der einzelnen Platten bildeten, und brachte damit 16 Zoll eines Eisendrahtes von 0,01 Zoll zum Glühen. Ein einzelner Trog machte dagegen eine Länge von 8 Zoll glühend. Die Anzahl der Schichtungen war hiernach in beiden Fällen gleich. Bei einem anderen Versuche mit einer gewöhnlichen Säule aus Zink- und Kupferplatten von 1 Zoll Durchmesser und mit verdünnter Salzsäure getränkten Tuchscheiben stand die geschmolzene Drahtlänge bei gleicher Anzahl von Schichtungen im Verhältniß des Quadrats der Oberfläche der Platten.

Nach theoretischen Betrachtungen müssen die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch Ketten von der einfachen, zweifachen, dreifachen u. s. w. erregenden Oberfläche in demselben Grade glühend gemacht werden können, von einer Kette zur anderen immer um die Hälfte kleiner werden, so daß, wenn man z. B. fände, daß eine Kette von der einfachen erregenden Oberfläche eine Drahtlänge von 2 Fuß in ein eben sichtbares Glühen versetzte, und eine Kette von der doppelten Oberfläche eine Länge gleichen Drahts von 3 Fuß, so würde eine Kette von der dreifachen Oberfläche bloß eine Länge von $3\frac{1}{2}$ Fuß, eine Kette von der vierfachen Oberfläche eine Länge von $3\frac{3}{4}$ Fuß in solches Glühen versetzen.

Was die feuchten Zwischenleiter betrifft, deren man sich am zweckmäßigsten bei Herstellung einer Kette, an der man die Wärmeerzeugung beobachten will, bedienen kann, so hat sich gezeigt, daß die feuchten Leiter im Allgemeinen die Wirksamkeit der Säule in Bezug auf Wärmeerzeugung nach Maßgabe ihres Leitungsvermögens der Elektricität und ihrer oxydirenden Wirkung auf das Zink erhöhen. Cuthbertson stellt hinsichtlich ihrer Wirksamkeit die drei Mineralsäuren in die Ordnung: Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure. Die Wirkung mit der letzteren ist bei weitem anhaltender. Als nach 14 Stunden bei Füllung der Tröge mit ersteren die Batterie alle Wirkung verloren hatte, schmolz sie mit Salzsäure geladen noch zwei Drittel der ursprünglichen Drahtlänge und selbst nach zwei Tagen noch ein Drittel, behielt auch diese Kraft 4 Tage bei. In der Zwischenzeit waren in allen diesen Fällen die Plattenpaare aus den Trögen herausgenommen worden. Cuthbertson fand zum Drahtschmelzen am wirksamsten eine Mischung aus 1 Theil starker Salpetersäure, 10 Theilen Wasser und ein wenig Salzsäure. Nach Davy besitzt eine gesättigte Auflösung von kohlensaurem Kali eine größere Leitungskraft für Elektr.; dennoch fand er, daß eine mit 60 Theilen Wasser verdünnte Salpetersäure von 1,4 spec. Gewicht bei weitem wirksamer als eine gesättigte Auflösung von kohlensaurem

Digitized by Google

Kali war; da ferner concentrirte Schwefelsäure, obschon ein sehr guter Leiter der Elektr., doch ohne alle Wirkung zum Drahtschmelzen ist: so schloß Davy, daß die Flüssigkeiten im Verhältnisse ihrer oxydirenden Kraft auch diese Wirkung der Säule vermehren, welches Gesetz Pfaff und van Marum nicht bestätigt fanden.

In Bezug auf das Wachsen der Kraft mit der Anzahl der Plattenpaare führt Pfaff folgende Beobachtungen an: Davy fand, daß 100 Plattenpaare seines Trogapparats von 4 Zoll Seite 3 Zoll eines Platindrahtes von $\frac{1}{17}$ Zoll Durchmesser glühend machten, daß aber mit 1000 dieser Platten und auf gleiche Art mit verdünnter Salpetersäure geladen nur 13 Zoll von demselben Drahte glühend wurden. In einem andern Versuche schmolz Davy mit einem Voltaschen Apparate aus Trögen von Wedgwood und Platten von 11 Zoll Länge und 4,5 Zoll Breite mit zwei Batterien (jede von gleicher Zahl) die vierfache Länge wie mit einer; 6 Batterien schmolzen dagegen wenig mehr als die zweifache Drahtlänge, welche 3 Batterien geschmolzen hätten. Wilkinson fand mit einem Zellenapparate aus Zink und Kupfer von 4 Z. Seite mit verdünnter Salpetersäure geladen, die Strecke Stahldraht, welche geschmolzen wurde, im geraden Verhältnisse der Menge der Plattenpaare. 100 Platten verbrannten $\frac{1}{2}$ Z. von einem Stahldrahte von $\frac{1}{70}$ Z.; 200 Platten 1 Z.; 400 Platten 2 Z. Dasselbe Verhältniß zwischen der Zahl der Plattenpaare und der Drahtlänge galt seinen Versuchen zufolge auch für Trogapparate. Singer stellte seine Versuche mit Trog- und Zellenapparaten an. Die Trogapparate waren von Wedgwood'scher Masse, wovon jeder 10 Doppelplatten 4 Z. im Gevierte enthielt, und ein Trogapparat von Holz mit Zwischenwänden von Glas, von 50 solchen Doppelplatten. Sie wurden mit einer Mischung aus 5 Pfund starker Salpetersäure auf 75 Pfund Wasser, welche Singer als die beste Mischung zum Drahtschmelzen gefunden hatte, gefüllt. Zwei der Wedgwood'schen Tröge brachten gleich im Anfange 9 Z. Eisendraht von $\frac{1}{100}$ Z. (No. 9) zum schwachen Rothglühen; dieses dauerte aber nur kurze Zeit. Eine Minute, nachdem dieses aufgehört hatte, wurden nur noch 3 Zoll eben so rothglühend, als 9 Z. gleich anfangs. Vier solche Trogapparate machten im Anfange 18 Zoll von demselben Drahte rothglühend. Zehn Tröge, alle mit frischer Flüssigkeit gefüllt, brachten von demselben Drahte bei der ersten Schließung zum Glühen 36 Z.; fünf Tröge 18 Z., und nach einem kurzen Zeitraume jene 30 Z., diese 15 Z. In diesem geschwächten Zustande wurden vom Platindrahte von $\frac{1}{100}$ Z. durch 10 Tröge 5 Z.; durch 5 Tröge $2\frac{1}{2}$ Z. weißglühend erhalten. Hieraus macht er den Schluß, daß das Vermögen der galvanischen Batterie, Metalldrähte zum Glühen zu bringen, genau im Verhältnisse der Menge ihrer Plattenpaare, in jedem Zustande ihrer Wirksamkeit stehen. Versuche von Cuthbertson bestätigen dieses. Van Marum und Pfaff fanden sogar innerhalb einer gewissen Grenze diese Kraft in einem viel größeren Verhältnisse als der einfachen Zahl der Schichtungen wachsen; denn 4 Zink- und Kupfersäulen von 5 Z. Seite mit Salmiak geschichtet, wovon zwei zusammen aus 50 Plattenpaaren bestanden, und 8 Z. Eisendraht No. 16 stark zum Glü-

Digitized by Google

hen brachten, ja sogar größtentheils schmolzen, und die zwei andern zusammen von 60 Plattenpaaren nur 6 Z. zum Rothglühen brachten (ohne Zweifel, weil ihre Pappscheiben nicht gehörig genäßt waren), zu einem einzigen von 110 Plattenpaaren vereinigt, vermochten nicht bloß 14 Z., sondern sogar 32 Z. desselben Drahtes zum Rothglühen zu bringen.

Wie die festen so erfahren auch die flüssigen Leiter in der Kette eine Steigerung der Temperatur, wie dieses namentlich Versuche von Buntzen darthun. Dieser ließ sich zwei verschiedene gebogene Röhren verfertigen. Die eine hatte eine einfache Biegung in folgender Art ∧ und war an ihrer obersten Spitze mit einem sehr empfindlichen Thermometer versehen. Die andere war doppelt gebogen, wie beistehende Figur ∧∧, und hatte an beiden Spitzen Thermometer. Diese Röhren wurden mittelst Drähten, die durch Korkstöpsel hineinreichten, zu Wasserzersetzungsröhren (s. Folg.) vorgerichtet, und mittelst dieser Drähte in den Kreis einer Batterie von 1500 Abwechselungen aus Kupfer, Zink und Pappscheiben, mit Salmiakauflösung befeuchtet, gebracht. Der Versuch wurde zuerst mit der ersten Röhre angestellt, die anfangs mit destillirtem Wasser, in der Folge aber mit Salmiaklösung gefüllt war. Die Metalldrähte, welche feine Spitzen hatten, wurden abwechselnd aus Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Zink und Blei genommen; aber es zeigte sich beinahe kein Unterschied, welches Metall in dieser Absicht man anwendete. Uebrigens hatten sie eine solche Länge, daß sie von beiden Seiten die Kugel des Thermometers erreichen konnten, ohne doch selbst zusammenzutreffen. Zuerst wurde, wie gesagt, die Röhre mit destillirtem Wasser bei einer Temperatur der Luft von 14° R. und einem Abstand der Drähte von 1 Zoll gefüllt. Als die Kette geschlossen wurde, stieg das Thermometer bei starker Gasentwickelung, und nach Verlauf von 10 bis 12 Minuten stand es unbeweglich auf 23° R. Da die Röhre aus sehr dünnem Glase bestand und das Wasser, das sich aus dem Pfropfen hervordrängte, verdampfte, so wickelte Buntzen, um den erkältenden Einfluß dieser Ursachen zu vermeiden, trockenen Flanell 10 bis 12 mal um die Röhre, kittete die Korkpfröpfe luftdicht ein und ließ, um dem von der entwickelten Luft gepreßten Wasser Ablauf zu verschaffen, sehr dünne, einige Zoll lange Glasröhren luftdicht durch die Pfröpfe gehen. Die Röhre wurde mit Salmiakflüssigkeit gefüllt und nach Schließung der Kette stieg das Thermometer auf 60° R. Die zweite Röhre mit den beiden Thermometern sollte dazu dienen, zu sehen, auf welcher Seite die höchste Temperatur stattfände. Die Versuche mit ihr wurden durch dieselbe Batterie angestellt und zwar wiederum zuerst mit reinem Wasser und darauf mit Salmiakauflösung, bei einer äußeren Temperatur von 10° R. Nachdem die Kette eine Minute hindurch geschlossen war, stand das Thermometer bei dem Drahte, der Sauerstoffgas gab (dem positiven Polardrahte), auf 12° R.; bei dem Drahte dagegen, der Wasserstoffgas gab (dem negativen Drahte), auf 8° R. Nach Verlauf einiger Minuten stieg letzteres zu 10°, dann zu 12° und endlich blieben beide Thermometer bei 15° R. stehen. Wurde statt des Wassers die Salmiakauflösung genommen, so war alles

Digitized by Google

wie vorher; außer daß beide Thermometer auf 20° R. stiegen. Die im Ganzen geringere Temperaturerhöhung bei der doppelten Röhre hatte ihren Grund in dem größeren Abstande zwischen den Drähten. Es war aber nach Buntzen's Bemerkung die Temperatur bei den Spitzen derselben, wo die Thermometer standen, noch nicht am höchsten, sondern das Gefühl gab offenbar eine weit höhere Temperatur in der mittelsten Biegung der Röhre zu erkennen.

Daß bei den angeführten Versuchen die Erwärmung der Flüssigkeit nicht etwa durch bloße Mittheilung der Wärme von den Drähten geschah, geht schon daraus hervor, daß nach den Beobachtungen von Buntzen (welche Oersted bestätigt hat) die Temperatur in der Mitte zwischen beiden Drähten höher war als an den Drähten selbst. Auch der von Buntzen wahrgenommene Umstand, daß am positiven Polardrahte die Erwärmung der Flüssigkeit stärker als am negat. war, ist von anderen gleichfalls beobachtet worden. Murray verglich die Erwärmung der Flüssigkeit in den verschiedenen Zellen eines kräftig wirkenden Trogapparates und fand, daß die Erwärmung in den mittlern Zellen am stärksten war und von da nach beiden Seiten abnahm, daß aber diese Abnahme in den Zellen nach dem positiven Pole zu geringer war, als in denen, welche nach dem negat. zu lagen.

Dagegen hat das von Buntzen ausgesprochene Beobachtungsresultat, daß in einer mit einer besseren Leitungsflüssigkeit gefüllten Röhre eine stärkere Wärmeentladung stattfinde als in der mit einer schlechteren angefüllten, nicht als allgemeingültig sich erwiesen. Es ist vielmehr wahrscheinlich, daß es dabei auf das Verhältniß dieser Flüssigkeit zu der Flüssigkeit zwischen den Elementen der Säule und andere den Gesammtleitungswiderstand betreffende Umstände ankommt. Oersted erhielt bei seinen Beobachtungen an einer mäßig kräftigen Säule von 100 Plattenpaaren das entgegengesetzte Resultat. Nachstehende Beobachtungen von de la Rive sprechen auch dafür, daß, wie bei den festen Leitern, auch ein vermehrter Leitungswiderstand in den flüssigen der Wärmeerzeugung förderlich ist.

Wenn man die Flüssigkeit durch thierische Blase in mehre Zellen theilt und sie dann in den Kreis der Voltaschen Kette bringt, so sieht man, daß sie sich mehr erhitzt, als wenn sie ein bloßes Continuum bildet. Leitet man einen und denselben Strom successiv durch eine Flüssigkeit, die in einem Glasrohr von gewisser Weite und Länge enthalten ist und durch einen mit derselben Flüssigkeit benetzten Baumwollendraht von gleicher Länge und Dicke mit dem Rohr, so bleibt die Temperatur bei der in dem Rohre enthaltenen Flüssigkeit unverändert, während sie bei der in dem Dochte befindlichen Flüssigkeit beträchtlich steigt. Noch vorzüglicher läßt sich anstatt eines Baumwollendochts zu diesem Versuche der Stengel einer festen, etwas saftreichen Pflanze anwenden, welcher sich als ein durch eine Menge kleiner Zellen geschiedener feuchter Leiter ansehen läßt. Die Wärme, welche er entwickelt, wenn man ihn in den Kreis der Säule bringt, ist so beträchtlich, daß in den beiden Endstücken, in der Nähe der eingesteckten Platindrähte, die mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, das Wasser ins Sieden geräth.

Digitized by Google

Schon in dem Vorhergehenden ist mehremale von Erscheinungen an der geschlossenen Kette die Rede gewesen, welche chemischer Natur ist. Ein chemischer Proceß ist bei allen geschlossenen Ketten thätig, deren Bestandtheile flüssige und feste Leiter sind.

Bei einer Kette, die aus zwei heterogenen Metallen und einer Flüssigkeit besteht, tritt dieser chemische Proceß stets an den Berührungsflächen des festen mit dem flüssigen Leiter auf, und zwar wird stets an der Grenze des positiv elektrischen Metalles Sauerstoff aus der Flüssigkeit entbunden, welcher mit dem positiv elektr. Metalle sich chemisch verbindet, so daß dieses also oxydirt wird. Der Wasserstoff (der mit dem Sauerstoff vorher zu Wasser verbunden war) tritt dagegen an der Grenze des negat. elektr. festen Leiters auf, so daß die allgemeine Form des Processes hier eine Desoxydation oder Hydrogenation ist. Gemäß dieser Beobachtungen hat man nun den positiven Pol der Kette auch den Sauerstoffpol, den negativen den Hydrogenpol genannt.

Der chemische Proceß, welcher bei einem durch eine Flüssigkeit geschlossenen einfachen Plattenpaare auftritt, ist desto bedeutender, je mehr die betreffende Flüssigkeit geneigt ist, mit einem der beiden Metalle auch außer der Kette einen chemischen Proceß einzugehen und ein je besserer Leiter der Elektr. die Flüssigkeit ist. — Ritter hat dieses durch Versuche dargethan. Man lege auf den Boden eines Glases mit mehren Unzen concentrirter Salzsäure etwa einen Doppellouisd'or, nähere dann eine Zinkstange durch die Salzsäure dem Golde und bringe sie endlich mit demselben in Berührung. So lange Zink und Gold sich noch nicht berühren, bleibt letzteres ganz ruhig und ersteres bloß gibt wegen seiner beginnenden Auflösung dieselbe Menge Hydrogengas, die es auch ohne die Gegenwart jenes Goldes in dieser Säure gegeben haben würde. Sobald man aber beide Metalle mit einander in Berührung bringt, erhebt sich auch vom Golde, ohne daß es dabei im mindesten angegriffen wird, ein ungeheurer Strom von Wasserstoffgas in großen Blasen. Nach Ritter soll unter diesen Umständen vom Golde aus eine Gasentbindung stattfinden, wie man sie bei keiner Säule selbst von 1000 und 2000 Lagen, wenn sie auf die gewöhnliche Art mit Kochsalzauflösung gebaut ist, an irgend einem Drahte sehe, und nur die Gasentbindung einer Säule von 2000 Lagen, die mit concentrirter kalter Salmiakauflösung gebaut ist, übertreffe sie in der ersten Zeit ihrer Wirksamkeit. Dieselben Phänomene zeigen sich in einem etwas schwächeren Grade in der Salpetersäure, wo sich jedoch statt des Hydrogens Salpetergas entbindet, und in verdünnter Schwefelsäure. In einer Auflösung von gereinigter Pottasche in gleich vielem Wasser geben Zink und Platin für sich in Zeit von einigen Minuten nichts Bemerkliches von Gas, bei ihrer Berührung unter der Auflösung aber oxidirt sich das Zink und das Platin wird allseits mit Gas überzogen. Bringt man in mäßig starke Salzsäure Stanniol und berührt dieses mit Platin, so gibt das Stanniol kein Gas, sondern oxydirt sich bloß, das Platin aber gibt bloß Gas. Berührt man aber das Stanniol statt mit Platin mit

Digitized by Google

Zink, so gibt das Stanniol Gas ohne Oxydation, welche sich jetzt vielmehr auf das Zink wirft und zu derjenigen ohne Kette addirt. Silber mit Gold oder Platin unter Salzsäure zusammengebracht gibt keine bemerkliche Spur von Wirkung, unter Salpetersäure aber sogleich und sehr viel. Das Blei und Platin, Eisen und Platin unter Salzsäure geben wenig, unter Salpetersäure aber mehr und viel.

Der chemische Proceß ist ferner desto stärker, in je größerem elektromotorischen Gegensatze die betreffenden Metalle gegen einander stehen, oder was dasselbe, je weiter sie in der galvanischen Spannungsreihe von einander entfernt sind. Ritter hat indeß beobachtet, daß es auch mehre Ausnahmen von dieser Regel gibt, welches man nur dadurch erklären kann, daß die chemische Wirkung auch von dem zwischen den Metallen und den Flüssigkeiten stattfindenden Verhältnisse abhänge. Ein Amalgam aus 2 Theilen Quecksilber und 1 Th. Zink mit Platin und anderen Metallen in Salzsäure gab eine geringere chem. Wirkung, als Zink mit Platin, obwohl dieß Am. in der Spannungsreihe entfernter als Zink vom Platin und anderen Metallen steht. Es wird mit dem Zink sogar posit. elektrisch. Andere das Zink an Positivität übertreffende Amalgame verhielten sich ähnlich, z. B. das Kienmayersche, welches aus 1 Theil Quecksilber, 1 Theil Zink und 1 Th. Zinn besteht. Wenn ein Amalgam aus 3 Th. Quecksilber, 1 Th. Zink, 1 Th. Zinn und 1 Th. Blei mit Zink unter derselben Säure zusammengebracht war, so wurde bei der Berührung beider mit einander die Oxydation und Gasentwickelung, welche auch ohne Kette bei beiden, (beim Zink aber mehr als beim Amalgam) statt hatte, nicht am Zinke, sondern am Amalgame schwächer, so daß man sah, wie an dem letzteren der Oxydationsproceß durch das an ihm auftretende Wasserstoffgas geschwächt wurde. Dasselbe Amalgam gab jedoch mit Platin mehr Wirkung als das Kienmayersche, wiederum ganz gemäß der Spannungsreihe jener Amalgame unter sich, indem jenes mit diesem positiv elektrisch wird.

Endlich hängt die Stärke des chemischen Processes ab von der relativen Größe der Oberflächen, in welchen die beiden Metalle einander und in welchen sie die Flüssigkeit berühren. Wenn man einen einfachen Elektromotor aus Zink und Kupfer herstellt, so ist ein verhältnißmäßig geringes Stück Zink im Stande, eine große Fläche Kupfer in Thätigkeit zu setzen, welche mit jedem neuen Kupferbleche, welches in der Flüssigkeit mit dem Zinke in Berührung gesetzt wird, bis zu einer gewissen Grenze zunimmt. Dagegen wird bei gleichbleibender Berührungsfläche des Kupfers mit der Flüssigkeit die chemische Thätigkeit durch Vergrößerung der Zinkfläche mehr und mehr herabgesetzt. Wie hier Zink und Kupfer, so verhält sich bei jeder Combination heterogener Metalle das negat. zum posit. elektrischen Metalle. Ritter brachte Zinkdrähte mit Platindrähten unter Säuren in Verbindung und fand, daß, obschon die Zinkdrähte dünn waren, die Gasentwickelung am Platindrahte kaum merklich wuchs, wenn man noch einen zweiten, dritten mit ihm verbundenen Zinkdraht in die Säure brachte. Dagegen gab bei dem einen Zinkdrahte, wenn noch ein zweiter, dritter u. s. w. Platindraht

Digitized by Google

mit ihm in der Säure verbunden wurde, jeder neue beinahe so viel Gas als der vorige, und man konnte lange fortfahren, bis der Unterschied merklich wurde.

Da die Wasserstoffgaserzeugung am negativ elektr. Metalle einer elektromotorischen Combination dem Oxydationsprocesse dieses Metalles entgegenwirkt, so kann man ein Metall dadurch vor der Oxydation schützen, daß man es mit einem anderen Metalle combinirt, gegen welches es negat. elektr. wird. Man kann also ein Metall durch Verbindung mit einem anderen vor der Oxydation beschützen, und nach dem eben Gesagten wird eine geringe Ausdehnung positiv elektr. Metalles im Stande sein, eine bei weitem größere Ausdehnung gegen dasselbe negativ elektr. Metalles zu schützen. Pepys sucht daher zarte Schneideinstrumente dadurch zu conserviren, daß er ihnen Beschläge oder Futterale von Zink gibt. Wenn ein Eisenblech oder ein Eisenstäbchen in Berührung mit einem Zinkbleche unter Wasser liegt, so zeigt es sich nach einigen Tagen noch blank, während ein anderes Stück Eisen, in derselben Zeit ohne Berührung mit Zink im Wasser liegend, ganz mit Rost überzogen wird. Dagegen bildet sich Zinkoxyd, weil in demselben Maße, in welchem die Oxydation des Eisens verhindert, die des Zinkes beschleunigt wird. Selbst dann, wenn zwei Metalle durch ein drittes Metall verbunden werden, vermag das pos. das neg. vor der Oxydation zu schützen. Man fülle z. B. zwei neben einander stehende Gläser mit verdünnter Kochsalzauflösung, setze sie durch Baumwollenfasern, die mit Kochsalzauflösung befeuchtet sind, in Verbindung, tauche in ein Glas ein Eisenstäbchen, in das andere ein Zinkblech und setze Eisen und Zink durch einen Silberdraht in Verbindung, so wird noch nach mehren Tagen das Eisenstäbchen durch Oxyd nicht verunreinigt sein. Eben so kann man Kupfer durch Eisen, Zink oder Zinn schützen. Bei derartigen Versuchen in Meerwasser machte Davy die Bemerkung, daß keine Verringerung der beschützenden Wirkung stattfinde, wie lang auch der beide Metalle verbindende dünne Draht sein mochte. Es wurde ein Silberdraht von $\frac{1}{5}\frac{1}{6}\frac{1}{7}\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser und 40 Fuß Länge angewendet, ohne daß hierdurch eine Modification der Resultate bewirkt wurde. Zu Herstellung der schützenden Verbindung zeigte sich auch Kohle tauglich; aber das dünnste Glimmerblättchen oder die dünnste Luftschicht, welche die metallische Verbindung unterbrach, hob alle schützende Wirkung auf.

Als van Beek den angegebenen Versuch mit zwei Gefäßen wiederholte, und nach 47 Tagen den Platindraht, welcher das Eisen und Kupfer, die beide in Meerwasser eingetaucht waren, verband, durchschnitt, erwartend, daß nun alsbald eine Oxydation des Kupfers eintreten werde, so bemerkte er, daß, obschon Kupfer gewöhnlich vom ersten Tage seiner Eintauchung in Meerwasser an zu oxydiren beginnt, doch noch 20 Tage nach der Durchschneidung das Kupfer seinen Glanz und das Wasser seine vollkommene Durchsichtigkeit behielt. Ein frischer Kupferstreifen oxydirte schon am ersten Tage, an welchem er in dasselbe Wasser gebracht worden, und das bei dem Versuch angewendete Kupfer

wurde alsbald angegriffen, wenn man es in ein anderes, Meerwasser enthaltendes Gefäß brachte.

Ueber die geringe Quantität positiv elektr. Metalles, welches eine große Fläche negat. elektr. Metalles zu schützen vermag, hat namentlich Davy Versuche angestellt und von seinen Erfahrungen eine sehr nützliche Anwendung gemacht. Derselbe setzte Kupferplatten armirt mit $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{100}$ ihrer Fläche an Zink-, Schmiede- und Gußeisen mehre Wochen lang dem Fluthstrome im Hafen von Portsmouth aus und bestimmte ihr Gewicht vor und nach dem Versuche. Wenn der metallische Beschützer $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{100}$ betrug, fand weder Zerfressung noch Abnahme an Kupfer statt, bei geringerer Menge desselben erlitt aber das Kupfer einen Verlust, der desto bedeutender war, je weniger schützenden Metalles angewendet wurde. Indeß schützte noch $\frac{1}{1000}$ Gußeisen das Kupfer in einem gewissen Grade. Davy empfahl daher den Kupferbeschlag der Schiffe vor dem Zerfressen dadurch zu sichern, daß man dasselbe in Verbindung mit einer geringeren Quantität eines Metalles bringt, gegen welches das Kupfer negativ elektrisch ist. Die Erfahrung lehrte jedoch, daß das Kupfer, indem es mit dem Eisen oder Zink eine geschlossene Kette bildet, Neigung erhält, durch Zersetzung der Salze des Meerwassers mit alkalischen und erdigen Substanzen sich zu bedecken. Kupferplatten, welche $\frac{1}{13}$ bis $\frac{1}{80}$ ihrer Oberfläche an Zink und Eisen armirt beinahe vier Monate lang der Einwirkung des Seewassers ausgesetzt wurden, bedeckten sich mit einer weißen Masse, welche, wie chemische Zerlegung zeigte, aus kohlensaurem Kali, kohlensaurer Magnesia und Magnesiahydrat bestand. Da nun derartige Ueberzüge die Anhängung von Seegewächsen und Gewürmern beförderten, so wäre Davy's Beschützung des Kupfers unanwendbar gewesen, wenn derselbe nicht gefunden hätte, daß diese Ueberzüge bei Verminderung des schützenden Metalles wegblieben. Davy empfiehlt daher $\frac{1}{123}$ oder etwas mehr der Kupferoberfläche an Gußeisen zu Beschützung des Kupfers anzuwenden. Angestellte Versuche haben günstige Resultate gegeben. Eine Jacht, durch ungefähr $\frac{1}{17}$ hämmerbaren Eisens, in zwei Massen am Hintertheile angebracht, beschützt, war 6 Monate hindurch von Zeit zu Zeit zum Segeln gebraucht worden und hatte zuweilen im Hafen gelegen. Als Davy sie nach jener Zeit sah, war sie vollkommen blank und das Kupfer augenscheinlich unangegriffen; auch hatte sich nicht die geringste Anhaftung von Seegewächsen oder Schaalthieren auf dem Kupfer gezeigt. — Ein großes Fahrzeug von mehr als 650 Tonnen wurde mit 4 Beschützern, zwei am Hintertheil und zwei am Vordertheil, zusammen ungefähr $\frac{1}{184}$ der ganzen Oberfläche des Kupfers, versehen. Länger als 12 Monate gebraucht lief es nach gemachter Reise nach Calcutta und zurück vollkommen glatt in die Themse ein, und nach Untersuchung auf der trockenen Werfte zeigte es sich ganz frei von irgend einer Anhängung und bot eine schöne fast politte Oberfläche dar, so daß es keine größere Abnutzung des Kupfers erfahren zu haben schien, als man auf Rechnung mechanischer Ursachen setzen kann.

Es kann auch ein Metall zu Schützung eines gegen dasselbe positiv elektr. Metalles benutzt werden, wie denn Dumas Wasserleitungen

Digitized by Google

aus Bleiröhren gegen die darin erfolgenden Ablagerungen von kohlensaurem Kalk durch Zinn, Kupfer oder Eisen zu schützen empfiehlt.

Endlich kann man nach Wezlar die Oxydation des Eisens unter Wasser auch dadurch verhindern, daß man relativ elektropositive Materien in dem Wasser auflöst, indem dadurch das Eisen relativ elektronegativer wird; wie denn Eisen in ammoniak- oder kalihaltigem Wasser alle Anziehung zu dem darin enthaltenen atmosphärischen Sauerstoffe verliert.

Schon aus den Grunderscheinungen der Berührungselektr. folgt, daß, was über das Verhältniß der Metalle in der Kette zu einander gesagt worden, nicht auf die Größe der Masse, sondern auf die freie Berührungsfläche sich bezieht, indem bei gleicher Berührungsfläche die Größe der Masse ohne allen Einfluß auf die Elektricitätserregung bleibt.

Der chemische Proceß ist (wie auch die übrigen Wirkungen des Galvanismus) desto stärker, je geringer die Schicht des flüssigen Leiters zwischen beiden Elektromotorplatten ist. Bei gleicher Länge des Zwischenraumes und bei gleicher Berührungsfläche der Metalle mit der Flüssigkeit steht die Stärke des chemischen Processes in geradem Verhältnisse mit der Größe der Berührungsfläche der einzelnen Schichten der letzteren unter einander selbst; dagegen ist die Größe der Berührungsfläche der Metalle unter einander ohne merklichen Einfluß auf die Stärke des chemischen Processes.

Bisher war nur von der Zersetzung des Wassers durch den chemischen Proceß in der Kette die Rede, indeß erleiden auch andere in der Flüssigkeit aufgelöste zusammengesetzte Körper durch die galvanische Thätigkeit Zersetzung; und ähnlich wie das Wasser durch die galvanische Thätigkeit in seine zwei Bestandtheile zerlegt, und der eine von diesen, der Sauerstoff, zum positiven, der andere, der Wasserstoff, zum negativen Pole geführt wird, so wird überhaupt jeder zusammengesetzte Körper, der im Wasser aufgelöst an dem Processe mit Theil nimmt, wenn er durch die Thätigkeit der Kette zersetzt wird, stets in zwei Bestandtheile zerlegt, von denen der eine, wie der Sauerstoff, von dem posit., der andere, wie der Wasserstoff, von dem negat. Metalle angezogen wird und an demselben auftritt. Dem gemäß kann man alle Körper in eine Reihe ordnen, je nachdem sie durch den galvanischen Proceß aus ihren Verbindungen unter einander getrennt, mehr oder weniger geneigt sind, an dem neg. oder an dem pos. Pole aufzutreten. Der Sauerstoff ist hiernach, weil er stets, wenn er durch die galvanische Thätigkeit aus seinen Verbindungen getrennt wird, nach dem pos. Pole sich hin begibt, der von allen am meisten negative Körper. Nach den zerlegenden Versuchen in der einfachen Kette ist die Reihe der einfachen Grundstoffe vom am meisten negativen ab, folgende: Sauerstoff, Chlor, Jod, Stickstoff, Schwefel, Selen, Phosphor, die Metalle, Wasserstoff und von den bereits zusammengesetzten Körpern, welche als solche aus einer Verbindung getrennt werden, sind die Säuren die am meisten negativen, dann die Erden, und die positiven sind die Laugensalze. Pfaff führt folgende erläuternde Versuche an. Bedient man sich einer Zink- Gold- oder Zink- Platinkette und der Salpetersäure, so entwickelt sich

Digitized by Google

am neg. Metalle nicht bloß Wasserstoffgas, sondern auch Stickgas, während das Zink sich oxydirt; dient dagegen Ammoniak als flüssiger Leiter, so tritt am negat. Pole bloß Wasserstoffgas, am posit. Pole dagegen neben dem Sauerstoffgase auch Stickgas hervor. Wird Schwefelsäure als flüssiger Leiter gebraucht, so entwickelt sich Schwefelwasserstoffgas am negat. Metalle. Oxychlorsäure gibt Chlor am negat. Metalle, das zugleich aufgelöst wird, Hydrochlorsäure dagegen das Chlor am posit. Metalle, während Wasserstoffgas sich am negat. Metalle entwickelt; eben so Hydrojodsäure Jod am positiven Metalle, Wasserstoff am negativen. Der Wasserstoff verbindet sich gewöhnlich mit den positiven Metallen, und wenn eine Säure als Flüssigkeit dient, so löst sich das Oxyd in der Säure auf, dagegen behält das negative Metall seinen Metallglanz unverändert, und erhält ihn sogar wieder, wenn es ihn durch eine oberflächliche Oxydation verloren hatte. Wendet man aber als negatives Glied der Kette das krystallisirte Graubraunsteinerz mit Zink unter Schwefelsäure oder Salzsäure an, so gibt ersteres kein Gas, sondern verliert seinen Glanz, wird blind und nimmt an Gewicht ab, eine Wirkung, die vom Wasserstoffe abhängt, der sich mit seinem Sauerstoffe verbindet. Bis jetzt ist zunächst nur von denjenigen chemischen Wirkungen die Rede gewesen, welche bei der einfachen Kette stattfinden, und zwar wurde von den entgegengesetzt elektrischen Metallplatten als von Polen der Kette geredet. Bei einer zusammengesetzten Kette, bei der Voltaschen Säule, findet bei jedem einzelnen Plattenpaare eine gleiche chemische Thätigkeit statt, und eben so auch zwischen den Polen der Kette, wenn man durch eine Flüssigkeit ihre Verbindung herstellt. Die Polardrähte sind selbst nur die Verlängerungen der äußersten Platten. Bei Anwendung von Säulenapparaten lassen sich mannigfaltigere und großartigere chemische Erscheinungen als bei einfachen Ketten hervorbringen.

Die einfachste chemische Wirkung der Säule ist die Zerlegung des Wassers. Wie bei der einfachen Kette, tritt auch der Sauerstoff an dem posit. Pole, d. h. an dem Drahtende, welches vom posit. Pole aus in die Flüssigkeit geleitet geht, der Wasserstoff an dem negat. Pole auf. Da das Wasser stets einen Antheil atmosphärischer Luft enthält, so verbindet sich stets ein kleiner Antheil Sauerstoff mit dem Stickstoff dieser Luft zu Salpetersäure und ein kleiner Antheil Wasserstoff mit dem Stickstoff zu Ammoniak. Die Salpetersäure tritt ebenfalls am posit. Pole, das Ammoniak am negat. Pole auf. Die Zersetzung des Wassers wird durch Auflösung anderer zersetzbarer Stoffe in Wasser verstärkt, doch nur bis zu einem gewissen Grade; denn bei sehr concentrirten Auflösungen wird die Gasentwickelung häufig geringer. Die Kraft der Kette, welche die Zersetzung bewirkt, wird dann durch die übrigen Substanzen zu sehr in Anspruch genommen, auch gehen zuweilen die Bestandtheile des Wassers, statt sich in Gasform zu entwickeln, mit den übrigen Producten der Zersetzung neue tropfbar flüssige oder feste Verbindungen ein. Die durch die chemische Thätigkeit der Säule aus ihren bisherigen Bestandtheilen geschiedenen Substanzen haben im Allgemeinen eine größere Neigung, neue Verbindungen mit den in ihre

Digitized by Google

Berührung kommenden Stoffen einzugehen, als sie zeigen, wenn sie mit denselben außer dem Einflusse der Kette zusammenkommen.

Zur einfachen Beobachtung der Gasbildung im Wasser füllt man eine Glasröhre mit Wasser, schließe beide Mündungen derselben mit Korken und bringe durch die Korke hindurch Drähte von im Wasser nicht oxydirbarem Metalle, also von Platin, Gold oder Silber, so in die Röhre, daß sie in geringer Entfernung innerhalb derselben von einander abstehen und die außerhalb der Röhre befindlichen Enden dieser Drähte bringe man mit den entgegengesetzten Polen einer Voltaschen Säule in metallische Verbindung. Alsbald sieht man von beiden Drahtenden, so weit sie eingetaucht sind, Gasblasen sich entwickeln, und zwar ist die am negat. Drahte sich entwickelnde Gasmenge (Wasserstoffgas) reichlicher als die am posit. Pole sich entwickelnde (Sauerstoffgas), weil das Wasser, durch dessen Zersetzung die Gase sich bilden, ein noch einmal so großes Volumen Wasserstoff, als Sauerstoff enthält. Nimmt man Drähte aus im Wasser oxydirbarem Metalle, z. B. aus Eisen oder Zink, so entwickelt sich nur am negat. Drahte Wasserstoffgas, während der posit. Draht oxydirt und hierzu den sich entwickelnden Sauerstoff verbraucht.

Will man beide Gasarten gemeinschaftlich auffammeln, so läßt man die von den Polen ausgehenden Leitungsdrähte durch den Boden eines Gefäßes senkrecht in die Höhe gehen, so daß ihre Enden in parallele Richtung ein Stück über den Boden emporragen, füllt darauf das Gefäß mit Wasser und stürzt über die Drahtenden selbst eine gleichfalls mit Wasser gefüllte Glocke um. Die an den Leitungsdrähten sich entwickelnden Gase erheben sich in der Glocke und drängen das in ihr befindliche Wasser mehr und mehr heraus. Ein solcher Apparat ist in Fig. 195. abgebildet. P und N sind die Leitungsdrähte, welche durch einen Pfropf hindurchgehen, durch den die unten etwas weitere Mündung des Trichters EE geschlossen wird.

Bischof gibt einen Apparat an, mittelst dessen man bestimmen kann, welche Zeiten erforderlich sind, um dieselbe Quantität Gas durch Zersetzung des Wassers zu gewinnen. Dieser Apparat besteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre (Fig. 196.), in welche von oben ein eingeschmolzener Platindraht P vertical hinabreicht. Ein anderer Platindraht N ist horizontal eingeschmolzen, so daß er im Niveau mit der unteren Spitze des Drahtes P ist, ohne ihn jedoch zu berühren. Die Röhre wird mit Wasser gefüllt und mittelst ihrer Drähte in den Kreis einer wirksamen Säule gebracht. Alsbald beginnt die Gasentwickelung, das Wasser in der Röhre wird herabgedrückt, sobald aber der Spiegel des Wassers bis unter die Spitze des oberen Drahtes herabgedrückt ist, hört die Gasentwickelung auf, weil in demselben Augenblicke die Wirkung der Säule gegen das Wasser aufhört. Ist die Röhre bei allen Versuchen in verticale Richtung aufgestellt, und vermeidet man während der Proceß schon aufzuhören beginnt, jede Erschütterung, so muß die sich entwickelnde Gasmenge bei allen Versuchen genau dieselbe sein. Doch muß man auch auf den Barometer- und Thermometerstand Rücksicht nehmen, weil dieselbe Quantität Gas, je nach dem Grade ihrer

Digitized by Google

Temperatur, ein verschiedenes Volumen annimmt, und weil es unter dem Drucke der Luft (dessen wechselnde Größe das Barometer anzeigt) steht. Soll das Gas in der Röhre gleiche Dichtigkeit mit der äußeren Luft haben, so muß der kürzere Schenkel der Röhre bis zum Niveau des horizontalen Drahtes hinaufreichen. Nach Bischof's Beobachtungen hört die Zersetzung des Wassers augenblicklich auf, so daß nicht um eine halbe Secunde Ungewißheit stattfindet. Bischof hat dieses Wasserzersetzungsapparates sich bedient, um die Kraft verschiedener Säulen auf eine vergleichbare Weise zu messen. Je kräftiger nämlich die Säule ist, in desto kürzerer Zeit wird dieselbe Quantität Gas von ihr erzeugt.

Um die beiden Gasarten, jede für sich, aufzufangen, kann man sich des Fig. 197. abgebildeten Apparates von Simon bedienen. Eine gebogene Röhre ACB, die man mit der zu zersetzenden Flüssigkeit angefüllt, wird an ihren beiden Oeffnungen A und B mit guten Korkstöpseln versehen, in welchen die nöthigen Drähte und Entbindungsröhren luftdicht eingekittet sind. Da dieser Apparat an beiden Seiten offen ist und also gefüllt als Heber dienen muß, so ist es, besonders in einigen Fällen, nöthig, darauf zu sehen, daß der Wasserstand auf beiden Seiten in den Gefäßen D und D' immer gleich hoch erhalten werde, damit nicht auf der einen Seite die Flüssigkeit aus der gekrümmten Röhre trete und auf der anderen das Sperrwasser in sie eindringe. Die Regulirung hierbei verursacht jedoch nicht viel Mühe, da jedenfalls die Gaserzeugung nicht so schnell vor sich geht, um Veränderungen der Wasserhöhe zu verursachen, die eine ununterbrochene Aufmerksamkeit erfordern. Man kann auch ganz einfach statt wie in Fig. 195. über beide Drähte, über jeden Draht besonders eine mit Wasser gefüllte Glasglocke stürzen.

Je stärker eine Säule ist, desto weiter können in der Flüssigkeit die beiden Polardrähte von einander abstehen, ohne daß die Gasentwickelung aufhört. Erman verband zwei Röhren von beträchtlicher Länge, in welche Platindrähte reichten, durch eine mit Wasser gefüllte heberförmige Röhre und erhielt noch durch eine Säule von 100 Paaren Zink und Kupfer an beiden Drähten Gasentbindung, obschon die Enden derselben um 18 Fuß von einander entfernt waren. Die Zersetzung derselben nimmt jedoch im Allgemeinen mit der Annäherung der Drähte an einander zu. Bei der Berührung der Polardrähte mit einander hört indeß, sobald dieselbe genau genug ist, alle Zersetzung des Wassers auf, weil dann die entgegengesetzten Elektricitäten, ohne auf das Wasser zu wirken, durch die metallisch zusammenhängenden Drähte sich neutralisiren.

Die Gasentbindung wird geschwächt, wenn der in die Flüssigkeit eingetauchte Theil der Leitungsdrähte über einen gewissen Grad hinaus verkürzt wird; auch dann, wenn die Spitzen in gleicher Entfernung von einander bleiben, wie dieses bei dem in Fig. 195. abgebildeten Apparate der Fall ist. Gay-Lussac und Thénard erhielten in dieser Beziehung nachstehende Resultate. Als die Platinleitungsdrähte ihres Zellenapparats in den mit der zu zersetzenden Flüssigkeit (gewöhnlich Salpetersäure mit 3 Theilen Wasser verdünnt) gefüllten Trichter bis zu

ungefähr 8 Centimeter Länge parallel mit einander hineinragten, entbanden sich (in 20 Minuten) im Mittel aus 5 Versuchen 149 Maß Gas: als die beiden Platindrähte im Trichter auf 4 Centimeter verkürzt wurden, bei übrigens gleichbleibenden Umständen, entbanden sich nach einem Mittel aus 5 Versuchen 156 Maß Gas. Bis jetzt schien also eher Verstärkung als Schwächung der Wirkung durch die Verkürzung zu erfolgen. Als nun aber beide Drähte auf 3 Centimeter verkürzt wurden, betrug das Mittel aus 5 Versuchen nur 65 Maß Gas. Der Säure im Trichter wurde darauf sehr viel mehr Stärke gegeben und nun wurden wieder 169 Maß Gas erhalten.

Steffens beobachtete, daß die Gasentwickelung geringer war, wenn die Spitzen der Polardrähte nicht ringsum frei in die Flüssigkeit hineinragten, sondern an die Wände der Glasröhre sich lehnten; auch soll die perpendiculäre oder die der Säule entsprechende Richtung der Polardrähte diejenige sein, bei welcher die stärkste Gasbildung erfolgt. Derselbe fand ferner, daß zwei sehr dicke Stahldrähte in einer Röhre voll Wasser nur sehr wenig Gas erzeugten, so lange sie stumpf waren, bedeutend mehr dagegen, als sie spitz gefeilt wurden.

In Bezug auf die Metalle, aus welchen die Drähte bestehen, hat man im Allgemeinen gefunden, daß die Gasbildung um so kräftiger geschieht, je mehr das Metall des vom posit. Pole ausgehenden Drahtes geneigt ist, positiv elektr. zu werden, und je negativer das am negat. Pole angebrachte Metall ist. Hiernach würde ein Polardraht von Zink am posit. Pole und ein Polardraht von Platin am negat. Pole die stärkste Wasserzersetzung veranlassen. Nimmt man zu beiden Leitungsdrähten Drähte von demselben Metalle, so sind sie um so wirksamer, aus je positiverem Metalle sie bestehen. Marechaux brachte am negat. Pole einen Messingdraht an, und erhielt mit einem von dem posit. Pole ausgehenden goldenen Polardrahte nur $2\frac{1}{2}$ Maß Wasserstoffgas in derselben Zeit, in welcher ein Draht von Stahl 12 und ein Draht von Zink 20 Maß Wasserstoffgas hervorbrachte.

Nach Versuchen von Sylvester und Wilkinson findet eine nur sehr geringe oder auch gar keine Zerlegung des Wassers statt, wenn die Röhren, in welche das zu zerlegende Wasser eingeschlossen ist, sehr eng sind. Als Wilkinson die Platindrähte einer Säule aus 270 Platten mit Wasser in einer $\frac{3}{8}$ Zoll weiten Röhre bei 6 Zoll Abstand ihrer Spitzen in Verbindung setzte, ging die Wasserzersetzung unter langsamer Entbindung von Gas an beiden Spitzen vor sich. Steckte er aber die beiden Platindrähte in eine feine Glasröhre voll Wasser, deren Oeffnung nur $\frac{1}{10}$ Zoll im Lichten hatte, so zeigte sich nicht eher irgend eine Wirkung, als bis die Spitzen einander bis auf $\frac{1}{4}$ Zoll genähert waren, und auch da entband sich nur eine einzelne Blase, die an dem negat. Drahte unverrückt sitzen blieb. Nach Pfaff's Versuchen hat jeder galvanische Apparat eine ihm angemessene Weite der Gasröhre, bei welcher er das Maximum von Wasserzersetzung gibt, und zwar kann die Röhre in dem Verhältnisse weiter genommen werden, in welchem die Zahl der Schichtungen die Größe der Oberflächen der Platten und die Leitungsfähigkeit des feuchten Zwischenleiters zunehmen.

In hermetisch verschlossenen Gasröhren, in denen das entbundene Gas nicht entweichen kann, wenn man z. B. die Röhre um die Golddrähte zuschmilzt, findet zwar eine ganz kurze Zeit einige Gasentwickelung statt, dieselbe hört aber bald auf, wenn das entwickelte Gas einen Druck auf die Flüssigkeit ausübt.

Die Versuche mehrer ausgezeichneter Physiker über den Einfluß, welchen im Wasser aufgelöste Substanzen auf die Größe der Wasserzersetzung haben, beweisen, daß das Leitungsvermögen der verschiedenen Flüssigkeiten kein bestimmtes Verhältniß zur Wasserzersetzung haben. Es kommt vor, daß ein geringer Zusatz die Wasserzersetzung vermehrt, während ein stärkerer Zusatz derselben Flüssigkeit dieselbe verringert. Gay-Lussac und Thénard fanden, daß, während destillirtes Wasser nur ein Maß Gas entband, eine mit einem gleichen Volumen Wasser verdünnte Salpeterlösung 47 Maß Gas, gesättigte Salpeterlösung dagegen in derselben Zeit wieder nur 28 Maß Gas entwickelte. Am genauesten sind Förstemann's Versuche mit verschiedenen Flüssigkeiten. In nachstehender Tabelle ist angegeben, welche Gasmengen die verschiedenen Flüssigkeiten in derselben Zeit gaben, wobei diejenige Menge, welche aus reinem Wasser entwickelt wurde, = 1 gesetzt ist. Die in Klammern den Namen der Flüssigkeiten vorgesetzten Zahlen geben die Reihenfolge an, in welcher die Flüssigkeiten hinsichtlich ihres Leitungsvermögens stehen. Aus der nähern Betrachtung der Tabelle sieht man, wie die am schlechtesten leitende Flüssigkeit, nämlich Wasser, nach der Essigsäure das meiste Gas gab, gute Leiter dagegen, wie Salzsäure und Salpetersäure, wenig Gas entwickelten. Andererseits geben aber auch schlecht leitende Flüssigkeiten, wie Bleizuckerlösung, gar kein Gas, während gut leitende, wie Essigsäure und Ammoniakflüssigkeit, viel Gas entwickelten.

	Specifisches Gewicht.	Gasmengen in gleichen Zeiten.
(2) Essigsäure	1,024	1,208
(10) Wasser	1,000	1,000
(4) Ammoniakflüssigkeit	0,936	0,912
(7) Kalilauge	1,172	0,885
(6) Schwefelsäure	1,848	0,779
(5) Salmiaklösung	1,064	0,722
(8) Kochsalzlösung	1,166	0,549
(1) Salzsäure	1,126	0,529
(3) Salpetersäure	1,236	0,391
(9) Bleizuckerlösung	1,132	0,000

Bei einer anderen Reihe von Versuchen wandte Förstemann Flüssigkeiten von verschiedener Verdünnung an und fand, daß bei den meisten zwar die Gasentwickelung mit der Verdünnung der Flüssigkeiten von

ihrem Concentrationszustande an bis zu gewissen Grenzen zunahm, bei andern aber die Gasentwickelung abnahm, so wie die Flüssigkeiten mehr und mehr verdünnt wurden.

1) Flüssigkeiten, in denen die Gasentwickelung mit ihrer Verdünnung zunahm.

	Gehalt.	In gleichen Zeiten entwickelte Gasmengen.
Kochsalzlösung.....	30 pCt. Kochsalz	0,55
	15	0,59
	5	0,62
	1	0,87
	0,5	0,81
Schwefelsäure.....	70 pCt. wasserfreie Schwefelsäure	0,76
	15	0,87
	1,5	0,99
	0,8	0,93
Kalilauge.....	30 pCt. Kali	0,87
	1	0,94
	0,3	0,91

2) Flüssigkeiten, in denen die Gasentwickelung mit ihrer Verdünnung abnahm.

	Gehalt.	In gleichen Zeiten entwickelte Gasmengen.
Essigsäure.....	13 pCt. wasserfrei gedachte Essigsäure	1,18
	2,5	1,02
	0,5	0,95
Ammoniak.....	18 pCt. Ammon.	1,15
	3	0,86
	0,4	0,67

Hiernach nahm bei denjenigen Flüssigkeiten, welche in ihrem concentrirten Zustande weniger Gas als reines Wasser gaben, die Gasentwickelung mit der Verdünnung zu, erreichte jedoch nicht die Stärke, wie in reinem Wasser, und wie es schien, nahm sogar mit einer noch größeren Verdünnung die Gasentwickelung wieder ab.

Nach den oben angegebenen Versuchen entwickelt sich aus concen-

Digitized by Google

tirter Essigsäure mehr Gas als in reinem Wasser, und nach den zuletzt angeführten Versuchen war dieses auch bei Ammoniak der Fall. In diesen beiden Flüssigkeiten nahm die Gasentwickelung mit der Verdünnung noch über den Punkt hinaus ab, auf welchem sie sich wie reines Wasser verhielten.

Bischof und Andere haben gefunden, daß die Menge von Gas, welche durch eine Säule entwickelt wird, dieselbe bleibt, die Säule mag nun vollkommen isolirt sein, oder es mag der eine oder der andere Pol zugleich ableitend berührt werden. Nicht einmal eine Ableitung beider Pole brachte eine merkliche Verminderung der Gasentwickelung hervor. Bischof hatte zwei Säulen so neben einander errichtet, daß, indem die unteren oder oberen Enden mit einander durch einen Metallstreifen verbunden wurden, eine einzelne zweischenklige Säule dadurch entstand, deren beide Pole in dem ersten Falle nach oben, in dem zweiten nach unten sich befanden. Ungeachtet nun wegen der unvollkommenen Isolirung der unteren Enden in diesem zweiten Falle die Pole selbst keine Spur einer freien elektr. Spannung zeigten, während in dem ersten Falle die volle Intensität der Spannung da war, so war doch die Gasentwickelung gleich stark, ob die Gasröhre zwischen den beiden unteren Polen die Verbindung machte, oder ob sie zwischen den beiden oberen Polen eingehängt war.

Nach Gay-Lussac's und Thénard's Erfahrungen wird die Gasentbindung bedeutend durch Temperaturerhöhung verstärkt. Als dieselben in dem Trichter, in welchem die Gasentwickelung vor sich ging, schwach gesalzenes Wasser von 10° C. goſſen, erhielten sie in 20 Minuten 38 Maß Gas; nachdem die Temperatur des Gases aber auf 55° C. erhöht worden, entwickelten sich binnen 20 Min. 68 Maß Gas.

Endlich verdient noch Ritter's Erfahrung angemerkt zu werden, nach welcher der Gasstrom um so schneller erscheint, je öfter man dieselbe Gasröhre mit denselben Drähten mit kurzer Unterbrechung gebraucht hat, doch verliert sich dieser Einfluß wieder, wenn man mit einer neuen Schließung der Säule durch die Gasröhre lange genug verzieht. Der Einfluß des Gewesenseins der Drähte in der Kette zeigt sich aber grade entgegengesetzt, so wie man beim zweiten Einbringen der Drähte in die Kette die Röhre und damit die Drähte umkehrt, so daß der Draht, welcher vorher Hydrogen gab, hernach Oxygen geben muß, welches so weit gehen kann, daß, wenn die Röhre beim ersten Sein in der Kette, also in der einen Richtung, den Hydrogenstrom nach 8 Secunden gab, beim zweiten Hineinbringen, oder bei der entgegengesetzten Richtung der Röhre, 12 ja 16 Secunden verstrichen, bis die Gasentwickelung anfing.

Diejenigen Physiker, welche zuerst die Zersetzung des Wassers durch galvanische Elektr. beobachtet haben, haben auch nachgewiesen, daß die entwickelten Gase in der That die Bestandtheile des Wassers sind, und daß sie sich in demjenigen Verhältnisse entwickeln, in welchem sie zu Wasser verbunden sind, so also, daß zwei Volumina Wasserstoffgas auf eine Volumen Sauerstoffgas kommen. So zeigte Simon, daß das Gasgemenge, welches die Säule aus frisch gekochtem Wasser entbindet, nicht allein ohne Rückstand im Volta'schen Eudiometer über

Digitized by Google

Quecksilber durch den elektr. Funken zu Wasserdampf verbrennt, sondern auch, daß der Gewichtsverlust, welchen das Wasser durch die Gasentwickelung erleidet, dem Gewichte des entwickelten Gases entspricht.

Sehr genaue Versuche sind von Davy angestellt worden, welcher beide Gasarten in den Röhren selbst auffing, in denen die beiden Golddrähte, welche die Gasentwickelung bewirkten, sich befanden. Diese waren nämlich in ihr oberes Ende eingeschmelzt, mit ihren unteren offenen Enden waren diese Röhren in Gläser umgestürzt, die selbst durch frische Muskelfasern mit einander verbunden waren. Die Röhren sowohl als die Gläser wurden mit destillirtem Wasser gefüllt, welches Davy nach achtstündigem Kochen, um wo möglich alle im Wasser enthaltene Luft zu verjagen, fast noch siedend eingefüllt hatte. Er erhielt reines Wasserstoffgas und reines Sauerstoffgas. Da aber Davy das Verhältniß ihrer Volumen wie 56 : 14 fand, also die Quantität des erhaltenen Sauerstoffes weit geringer war, als sie nach dem Verhältnisse, worin Wasserstoff und Sauerstoff im Wasser verbunden sind, hätte sein sollen, so schloß er, daß das Wasser einen Theil des Sauerstoffes verschluckt haben müsse. Wirklich fand Davy auch bei Wiederholung des Versuches, nach vorheriger Sättigung des Wassers mit Sauerstoffgas (welches er bewirkte, indem er über Quecksilber Wasser mit Sauerstoffgas schüttelte), ein Verhältniß beider Gasarten = 57 : 27, welches nahe demjenigen Verhältnisse gleich ist, in dem Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser verbunden sind.

Wenn die entwickelten Gase wirklich durch chemische Zersetzung des Wassers entstehen, so muß dieses bei der Gasentwickelung an Gewicht verlieren. Als daher Gruner fand, daß bei einem von ihm angestellten Versuche, nach einer Entwickelung von 6 Cubikzoll Gas das Wasser noch keine Abnahme des Gewichtes erlitten hatte, so schloß er, daß nicht sowohl das Wasser, als vielmehr die galvanische Materie eine Zersetzung erleide. Genauere Versuche, namentlich von Erdmann, zeigten jedoch, daß allerdings das Wasser durch die Gasentwickelung an Gewicht verliere. Derselbe bediente sich bei seinen Versuchen mit mehr Genauigkeit eines kugelförmigen Gefäßes mit cylindrischem Halse (Fig. 198.). Er hatte es zu dem Ende an zwei gegenüberstehenden Stellen durchbohrt, über die Oeffnung Korkstöpsel b b gekittet, durch diese zwei zugespitzte Golddrähte a a gesteckt, so daß ihre Spitzen nur um eine Linie von einander abstanden, und Kork, Metall und Glas, wo sie an einander grenzten, mit Siegellackfirniß luftdicht überzogen. Er füllte darauf das Gefäß bis an den Hals mit frisch destillirtem Wasser, wovon es genau 5½ Drachmen hielt, verschloß es mit einem Korkstöpsel, durch den ein S förmig gekrümmtes Haarröhrchen ging, und verstrich auch hier alle Fugen sorgfältig mit Siegellackfirniß. Dieser ganze Apparat wog 648 Gran. Die Golddrähte wurden mit einer Säule von 80 Lagen, welche mit Salmiakauflösung geschichtet war, in Verbindung gesetzt, und das Gas in einem mit destillirtem Wasser gefüllten, vorher graduirten Cylinder aufgefangen. Nach 40 Stunden hatten sich in dem Cylinder bei 10° R. genau 6 Cubikzoll Gas angesammelt und der Apparat hatte einen Gran an Gewicht verloren.

Noch genauere Versuche, welche den Gewichtsverlust des Wassers erweisen, hat Simon angestellt.

Ein weiterer Gegenstand der Untersuchung war die Erörterung des Vorganges der Zersetzung im Wasser selbst, ob nämlich das Wasserstoffgas, welches bei der Entwickelung des Sauerstoffgases am posit. Pole frei werden mußte, nach dem negat. Pole übergehe, und eben so das Sauerstoffgas vom negat. zum posit. Polardrahte, oder ob sich in der Flüssigkeit auf der einen Seite selbstständig Wasserstoffgas, auf der anderen selbstständig Sauerstoffgas entwickele und was dann aus dem jedes dieser Gase zu Wasser ergänzenden Gase werde.

Davy schmolz, dieß zu untersuchen (wie schon oben bemerkt ist), Golddrähte, die er mit den Polen der Säule verbinden wollte, in das eine Ende von Glasröhren, die er mit dem andern offenen Ende in Gläser mit Wasser umstürzte. Tauchte er nun den Finger der einen Hand in das eine Glas, den der anderen in das andere, wo also die Communication zwischen beiden Gläsern durch seinen Körper stattfand, so erfolgte die Gasentbindung in vollkommen geschiedenen Wasserportionen, und zwar an jedem Drahte die des ihm vermöge des Pols zugehörigen Gases. Denselben Dienst leistete eine Verbindung der Gläser durch Muskelfasern und frische Pflanzenfasern, endlich durch einen benetzten Faden. Auch als sich drei Personen anfaßten, wovon die beiden äußersten die Finger in die Gläser tauchten, trat derselbe Erfolg nur geschwächt ein. Pfaff hat den Kork zur Scheidung vorgeschlagen und mit einem solchen Apparate, der aus zwei Abtheilungen bestand, die durch eine vollkommen isolirende Scheidewand von einander getrennt waren, in welche von jeder Seite her Golddrähte eingekettet waren und in welchen durch einen an der Scheidewand angebrachten Kork die Leitung von dem einen Wasser zum anderen vermittelt, die Communication des Wassers selbst aber, wie die verschiedene Höhe desselben in den beiden Abtheilungen bewies, vollkommen unterbrochen war, Versuche mit Erfolg angestellt. In allen diesen Fällen communicirten indeß (wie Pfaff bemerkt) die scheinbar getrennten Wasserquantitäten doch eigentlich wieder nur durch das Wasser, wovon der Faden oder der Kork durchdrungen waren, oder es fielen selbst beide Processe in ein und dasselbe Wasserquantum, wenn nämlich thierische Theile, wie Muskelfasern, Nerven u. s. w. die Communication unterhielten, indem diese Theile, wie Ritter richtig bemerkt, sich wie feste Leiter verhalten, nämlich mit chem. Polarität, wie diese auftreten (s. Folg.), nur daß die Bestandtheile des Wassers an ihnen nicht gleichförmig erscheinen, sondern neue Verbindungen mit ihnen eingehen. Dieses erhellt besonders aus einem Versuche Simon's, wo zwei Röhren (Fig. 199.) A, B unten durch einen Streifen mageres Rindfleisch C vereinigt und durch herumgebundene Blase dicht verschlossen, darauf beide mit reinem Wasser gefüllt und ihre obere Oeffnung mit Korkstöpseln verschlossen wurden, durch welche Drähte nebst Entbindungsröhren luftdicht gingen. Das Fleisch erlitt eine merkwürdige Veränderung, indem das dem neg. Pol gegenüberstehende Fleischende D, welches folglich, wenn es selbst polarisirte, als Oxygenpol auftrat, eine hochrothe Farbe annahm und auch eine so

Digitized by Google

gefärbte Flüssigkeit absetzte; indeß das andere, dem posit. Pole zugekehrte, also selbst negativ gewordene Ende E des Fleisches gänzlich entfärbt wurde und ein gallertartiges Ansehen erhielt, Veränderungen, welche Simon auf gleiche Weise an Fleischfibern wahrnahm, mit denen er statt der genäßten Tuchscheiben eine Voltasche Säule schichtete, die auch mehre Tage hindurch vor Fäulniß geschützt wurden.

Für die Annahme, daß sich das Wasserstoffgas nur an dem einen, das Sauerstoffgas nur an dem anderen Polardrahte selbstständig erzeuge, sprechen noch folgende zwei Umstände. Erstens sieht man die Gasblasen niemals in der Mitte der Flüssigkeit zwischen beiden Polardrähten auftreten, sondern dieselben erheben sich stets unmittelbar an den Drähten selbst, so weit dieselben in die Flüssigkeit tauchen; zweitens verbindet sich, wenn der posit. Draht aus einem leicht oxydirbaren Metalle besteht, aller Sauerstoff mit dem Metalle, es wird also gar kein Sauerstoffgas auch nicht am negat. Polardrahte frei. Dennoch sprechen andere Versuche deutlich und unzweifelhaft aus, daß die chemische (zersetzende) Thätigkeit auf dem ganzen Leitungswege zwischen beiden Polardrähten stattfinde. Bedient man sich dreier Gefäße, welche man unter einander durch feuchten Asbest in Verbindung setzt, thut in das mittlere eine Salzauflösung und in jedes der beiden ihm zur Seite stehenden Gefäße eine andere Flüssigkeit, senkt hierauf in diese beiden Gefäße die Polardrähte der Säule, so wird man nach einiger Zeit finden, daß eine Zersetzung des Salzes (in Basis und Säure) stattgefunden habe, und es wird sich die Basis in demjenigen Gefäße, in welches der negat. Polardraht taucht, vorfinden, die Säure dagegen in dem Gefäße, in welches der positive Polardraht eingesenkt ist. Fechner drückt nun das Resultat dieser Beobachtungen über den Vorgang in der Flüssigkeit mit den Worten aus: Da jedenfalls am negativen Pole auch Sauerstoffgas durch das dort zersetzte Wasser frei wird, dieses aber sich durchaus erst, nachdem es bis in Berührung mit dem positiven Polardrahte gelangt ist, aus der Flüssigkeit zu entbinden vermag, so erhellt, daß ihm während seines Ueberganges vom negat. zum posit. Polardraht alle Neigung gemangelt haben muß, sich zu entbinden, und daß es diese erst durch seine Berührung mit dem posit. Drahte wiedererlangt, und eine ähnliche Betrachtung wird für das am posit. Pole frei werdende Wasserstoffgas gelten.

Porret hat einen merkwürdigen Versuch gemacht, nach welchem außer der Ueberführung der Bestandtheile des Wassers nach den entgegengesetzten Polen auch unter gewissen Umständen eine Bewegung der ganzen Wassermasse vom positiven nach dem negativen Pole beobachtet wird. Porret theilte eine Schale durch eine Scheidewand von Thierblase in zwei Abtheilungen, zu welchem Ende die Glasschale in zwei gleiche Hälften nach einem größten Kreise geschnitten ward, über die Ränder des Schnittes der einen Hälfte eine Blase ausgespannt, die beiden Stücke dann wieder in ihrer ursprünglichen Lage an einander befestigt, der Ueberfluß der Blase weggeschnitten und die beiden Hälften der Schale durch Siegellack an einander befestigt. Die eine der beiden Abtheilungen füllte er hierauf mit Wasser, welches selbst nach mehren

Digitized by Google

Stunden nicht durch die Blase durchdrang, brachte nun auch einige Tropfen Wasser in die andere Abtheilung, so daß deren Boden eben davon bedeckt ward, und verband den posit. Polardraht einer Batterie von 80 quadratischen Plattenpaaren von ¼ Zoll Seite mit dem Wasser in der ersteren, und den negat. Enddraht derselben mit den wenigen Tropfen in der zweiten Zelle. Außer der gewöhnlichen Wasserzersetzung zeigte sich nun noch das Phänomen, daß das Wasser wie vermöge eines von der posit. nach der negat. Seite gehenden Impulses durch die Blase hindurchdrang, so daß nach weniger als ½ Stunde das Wasser in beiden Zellen im Niveau sich befand, ja zuletzt in der negat. Zelle um ¾ Zoll höher als in der posit. stand. Nach de la Rive, der diese Versuche bestätigt hat, soll die Erscheinung nur für schlechtleitende Flüssigkeiten, wie Flußwasser oder destillirtes Wasser, nicht aber für concentrirte Salzlösungen gelten.

Es ist schon erwähnt worden, daß außer Wasserstoffgas und Sauerstoffgas bei der Zersetzung des Wassers auch die Bildung von einer geringen Quantität Ammoniak und Salpetersäure beobachtet werde. Es ist dieses immer der Fall, wenn man sich mehr oder weniger mit der atmosphärischen Luft geschwängerten Wassers bedient. Die Bildung von Säure am positiven und von Alkali am negativen Pole kann man leicht wahrnehmen, wenn man die beiden Polardrähte in Wasser leitet, welches durch ein vegetabilisches Pigment, das durch Säuren und Alkalien verschiedene Farbenveränderungen erleiden kann, gefärbt ist. Die der Säure und dem Alkali entsprechenden Farbenveränderungen treten dann an den beiden Polardrähten auf. Ist das Wasser durch Braunkohlentinctur blau gefärbt, so wird dieselbe nach Schließung der Säule am posit. Polardrahte in Roth, am negat. Polardrahte in Grün übergehen. Zu Beobachtung dieser Erscheinung kann man sich einer winkelförmig gebogenen mit Braunkohlenaufguß gefüllten Glasröhre bedienen. In den einen Schenkel senkt man den posit., in den andern den negat. Polardraht, und nach eingetretener Wirkung der Säule wird die Flüssigkeit in dem ersten Schenkel roth, in dem zweiten grün erscheinen. Bringt man hierauf den posit. Draht in die grüngefärbte, den negat. in die rothe Flüssigkeit, so geht die grüne durch Blau in Roth, die rothe durch Blau in Grün über. Die ursprünglich ins Grün spielende Farbe der Lackmustinktur wird am pos. Drahte stark roth, am negat. dunkelblau gefärbt. Fernambuckaufguß erhielt namentlich durch Gold- und Platindrähte um den negat. Draht eine dunkle Purpurfarbe, an dem posit. Drahte verschwand die Farbe fast gänzlich. Veilchensaft wird am posit. Platindrahte roth, am negat. grün. Genauere Untersuchungen haben gezeigt, daß die hier wirkende Säure Salpetersäure und das Alkali Ammoniak sei, welche sich bilden, indem der im Wasser enthaltene atmosphärische Stickstoff am negat. Pole mit einem Antheil Wasserstoff zu Ammoniak und derselbe am posit. Pole mit einem Antheil Sauerstoff zu Salpetersäure sich verbindet. Namentlich ist dieses durch Desormes und Davy erwiesen worden. Der letztere setzte zwei hohle Kegel von Gold mit destillirtem Wasser gefüllt durch Asbeststreifen, die mit destillirtem Wasser ausgekocht waren, mit einander und

Digitized by Google

durch Platindrähte mit den Polen der Säule in Verbindung. Derselbe beobachtete stets Bildung von Salpetersäure und von Ammoniak in geringer Menge. Um näher zu zeigen, daß die Anwesenheit von Luft die wirkliche Ursache dieser Bildung sei, brachte Davy die beiden Goldkegel mit dem gereinigten Wasser in den Recipienten einer Luftpumpe und pumpte diesen so weit leer, daß er nur noch $\frac{1}{64}$ der anfänglichen Luftmenge enthielt, und verband, vermöge einer besonderen Vorrichtung, die Kegel mit einer wirksamen Säule aus 50 Plattenpaaren von 4 Quadratzoll Oberfläche. Diese Verbindung unterhielt er 18 Stunden lang und untersuchte während derselben von Zeit zu Zeit das Resultat. Das Wasser des negat. Gefäßes äußerte nicht die geringste Wirkung auf schwach geröthetes Lackmuspapier; das Wasser des posi. Gefäßes wirkte darauf in einem kaum wahrzunehmenden Grade. Eine ohne Vergleich größere Menge von Säure hatte sich zu gleicher Zeit in der Atmosphäre gebildet, und das wenige Stickgas, welches mit dem Wasser in Berührung blieb, schien dieser Wirkung zu entsprechen. Davy wiederholte diesen Versuch noch einmal mit aller möglichen Vorsicht, richtete den Apparat auf die beschriebene Weise vor, pumpte den Recipienten möglichst luftleer, füllte ihn darauf mit Wasserstoffgas, das mit Sorgfalt bereitet worden war. Der Proceß wurde 24 Stunden lang fortgesetzt und am Ende dieser Zeit erfolgte nicht die geringste Farbenveränderung im präparirten Lackmuspapier, weder in dem Wasser der posit., noch in dem Wasser der negat. Seite. — Auch Buchholz ist es geglückt, bei Versuchen mit destillirtem Wasser und Ausschluß der Luft die Erzeugung von Säure und Ammoniak zu verhüten. Davy entdeckte endlich noch, daß in der Substanz der bei den Versuchen angewendeten Gefäße selbst die Quelle zur Bildung von Säure und Laugensalz liegen könne, obgleich die Substanz der Gefäße vom Wasser nicht angegriffen wird, wenn energisch wirkende Voltasche Apparate angewendet werden. So scheidet sich aus gläsernen mit Wasser gefüllten Gefäßen, wenn die Pole der Säule hineingeleitet werden, das Alkali des Glases am neg. Pole aus; cararischer Marmor, Thonschiefer, Serpentin, Zeolith und andere Steine gaben Natron, Lepidolith Kali, glasige Lava vom Aetna Kali, Natron und Kalk, wenn entweder aus diesen Stoffen Gefäße geformt und mit Wasser gefüllt, oder derbe Stücke von ihnen in schicklichen Gefäßen in Berührung mit Wasser der Wirkung der Säule ausgesetzt wurden. Aus dem Basalte erhielt Davy auf diese Weise einerseits Salzsäure, andererseits Natron, als er nämlich Löcher in denselben gebohrt, diese mit reinem destillirten Wasser gefüllt und die Verbindung durch einen Amianthstreifen gemacht und durch Platindrähte die Pole seiner Batterie in das Wasser hineingeleitet hatte.

Schon oben S. 573 wurde ein Beispiel angeführt, wie auch auf andere Stoffe als Wasser die Säule zerlegend und auf die Bestandtheile überführend wirkte. Von mehren Physikern, namentlich aber von Davy, sind in Bezug auf diese überführenden Wirkungen des Voltaschen Apparates ausgedehnte Beobachtungen angestellt worden, deren allgemeine Resultate Fechner in folgenden Sätzen ausspricht.

Digitized by Google

1) Wie man auch die Flüssigkeiten in den Gefäßen vertheilen mag, jedenfalls wird ihr elektronegativer Bestandtheil nach einiger Zeit sich am positiven, ihr elektropositiver Bestandtheil am negat. Pole der Säule angesammelt finden.

2) Die respectiven Bestandtheile der Flüssigkeiten gehen ganz rein (die Säure frei von Basis und umgekehrt) zu den Polen über, nach denen sie hingeführt werden.

3) Bei übrigens gleichen Umständen ist die Zeit, welche zum Hinüberführen der Bestandtheile nöthig ist, um so größer, durch eine je größere Strecke von Flüssigkeiten die Polardrähte getrennt sind.

4) Die übergeführten sauren und alkalischen Bestandtheile wirken unterwegs nicht auf reagirende Papiere.

5) Die Ueberführung der Bestandtheile findet auch dann noch statt, wenn sie unterwegs einen Stoff treffen, mit dem sie außer der Kette eine auflösliche Verbindung geben würden, nicht aber wenn diese Verbindung unauflöslich sein würde.

Bei Anstellung der hierher gehörigen Versuche nahmen Berzelius und Hisinger zweischenklige Glasröhren, in deren Beugung ein Loch gemacht war, um darin eine Röhre zu Entbindung des Gases anzubringen. In die Oeffnungen an den beiden Enden jeder Heberröhre paßten eingeschliffene Stöpsel von Thermometerröhren gemacht, durch welche die Polardrähte gingen und in ihnen mit Harzkitt befestigt waren. Durch das Loch wurden nun beide Schenkel der Röhren zu ⅔ mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt und obenauf mit vieler Behutsamkeit reines Wasser gegossen, welches die ganze Beugung füllte und die Flüssigkeiten in beiden Schenkeln schied. Auf diese Weise brachte Berzelius Salmiaklösung in dem einen Schenkel mit dem pos., eine Auflösung von schwefelsaurem Kali mit dem negat. Pole der Säule durch Eisendrähte in Verbindung und fand, daß nach 24 Stunden die negat. Flüssigkeit außer (noch unzersetztem) schwefelsaurem Kali auch freies Kali und freies Ammoniak, die posit. Flüssigkeit dagegen Schwefelsäure, Ammoniak, Salzsäure und aufgelöstes Eisen enthielt. Davy füllte bei seinen Versuchen die zu zersetzende Flüssigkeit in zwei Gefäße, die unter sich durch Asbestfasern, welche mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, mit den Polen der Säule durch eingetauchte Polardrähte in Verbindung gesetzt waren. Diesen zwei Gefäßen kann noch ein mittleres irgend eine Flüssigkeit enthaltendes Gefäß hinzugefügt werden, welches durch befeuchtete Asbestfasern mit den beiden anderen Gefäßen, in welche die Polardrähte eingetaucht sind, in Verbindung gesetzt wird. — Fechner gibt nachstehende Darstellung der von Davy angestellten Beobachtungen.

Davy stellte verschiedentliche Versuche mit Salzen aus Mineralsäuren und Alkalien an, indem er in eins von zwei durch die Asbestfasern verbundenen Gefäßen eine Auflösung eines solchen Salzes, in das andere destillirtes Wassers that. War die Salzauflösung im positiven, das Wasser im negativen Gefäße, so war es stets die Basis; war dagegen die Salzauflösung im negativen, das Wasser im positiven Gefäße, so war es die Säure des Salzes, welche in das Wasser hin-

Digitized by Google

übergeführt wurde. Auch wenn die Salzauflösung von beiden Seiten nur durch destillirtes Wasser mit den Polen der Säule communicirte, erfolgte ein Ueberführen der Bestandtheile in der angegebenen Art, wie folgender Versuch lehrt. Davy füllte zwei Glasröhren mit gereinigtem Wasser, verband beide durch Amianth mit einem dritten Gefäße, worin sich eine Auflösung von salzsaurem Kali befand, und stellte beide so, daß die Oberfläche des Wassers in den Röhren höher war, als die Oberfläche dieser Auflösung. Jeder der beiden Platinpolardrähte war auf diese Art wenigstens ⅔ Z. von der Salzauflösung entfernt, die sich in dem dritten Gefäße befand; dennoch erschien sehr bald in der positiven Röhre die Säure, in der negativen das Alkali und nach 16 Stunden hatten sich ziemlich starke Auflösungen von Kali und Salzsäure in den Röhren gebildet. — Welchen Einfluß die größere Strecke von Flüssigkeit auf die Schnelligkeit des Hinüberführens hat, zeigt folgender Versuch von Davy. Bei einem Apparat von 100 Plattenpaaren, wo schwefelsaures Kali im negativen und destillirtes Wasser im positiven Gefäße war, und die beiden Enden der Polardrähte das eine Mal nur 1 Zoll, das zweite Mal dagegen (indem beide Röhren mit einem Zwischengefäß voll gereinigten Wassers verbunden wurden) 8 Zoll von einander entfernt waren, zeigte sich Schwefelsäure im Wasser des posit. Gefäßes im ersten Falle in weniger als 5 Minuten, in dem zweiten erst nach 14 Stunden. — Den Beweis, daß die Bestandtheile wirklich ganz frei von den Bestandtheilen entgegengesetzt elektrischer Beschaffenheit übergeführt werden, gibt folgender Versuch Davy's. Er that schwefelsaure Magnesia in die positive, destillirtes Wasser in die negat. Röhre und trug dabei Sorge, daß die Oberfläche des destillirten Wassers nie niedriger als die der Salzauflösung stand. Als nun der verbindende Amianth fortgenommen und die Flüssigkeit in der negat. Röhre mit Salzsäure gesättigt worden, gab sie keine Spur von Trübung in salzs. Baryterauflösung. — Daß die Bestandtheile der zersetzten Flüssigkeit nur in dem Maße, als sie an den Pol gelangen, zu welchem sie übergeführt werden sollen, auf reagirende Papiere zu wirken anfangen, geht aus folgendem Versuche Davy's hervor. Zwei Röhren, von denen die eine dest. Wasser, die andere eine Auflösung von schwefels. Kali enthielt, wurden durch Amianth mit einem kleinen Maß voll dest. Wassers, das mit Lackmus gefärbt war, verbunden, und in die Salzauflösung der negative, in das gefärbte Wasser der positive Polardraht eingetaucht. Auch über und unter den Amianthstücken, gerade in dem Kreislauf, wurde Lackmuspapier angebracht. Die Röthung zeigte sich sogleich unmittelbar an der posit. Oberfläche und verbreitete sich langsam von dieser Seite bis in die Mitte des Zwischengefäßes; an der negativen Seite erschien dagegen gar kein Roth, weder über dem Amianth noch um demselben, und obgleich von dort bis zu Ende des Versuchs immer Schwefelsäure hinübergeführt worden war, trat doch keine Farbenveränderung ein. Davy verkehrte nun die Ordnung, verband die schwefels. Kaliauflösung mit dem positiven, und das jetzt mit Curcumä statt Lackmus gefärbte dest. Wasser mit dem negat. Polardrahte. Der Erfolg war völlig analog. Die Curcumä wurde sogleich am negat.

Drahte braun und es fand keine Farbenveränderung in dem vermittelnden Gefäße nach dem posit. Drahte zu statt. Bei einem dritten Versuche füllte Davy die beiden Glasröhren mit einer Auflösung von salzs. Natron und das vermittelnde Gefäß mit schwefels. Silberauflösung und legte auf die pos. Seite (wie es scheint, dieses Gefäßes) Curcumápapier, auf die negative Lackmuspapier. Kaum war der Kreis geschlossen, als auch schon Natron in der negativen und Chlor in der positiven Röhre zu erscheinen begann; zugleich begann im vermittelnden Gefäße durch die Salzsäure ein schwerer und dichter, durch das Natron ein viel leichterer und dünnerer Niederschlag, aber weder die Curcumá, durch welche das Alkali vom posit. Pole, noch das Lackmus, durch das die Säure vom negat. Pole ab zu dem entgegengesetzten hinübergeführt wurde, litten die geringste Farbenveränderung. — Daß das Hinüberführen auch durch Mittel hindurchgeht, welche zu den übergeführten Bestandtheilen eine starke chemische Verwandtschaft haben, wofern nur das Resultat derselben kein unauflösliches Product ist, lehren nachstehende Versuche Davy's, mit einer Säule aus 150 Lagen und einer ähnlichen Vorrichtung, als bei den Versuchen mit salzs. Natron und schwefels. Silber angestellt. Mit dem negat. Polardrahte wurde eine Auflösung von schwefels. Kali, mit dem posit. gereinigtes Wasser in Berührung gesetzt; als Mittelglied diente eine schwache Ammoniakauflösung, so daß kein Theilchen Schwefelsäure von dem negat. Drahte in das posit. hinübergelangen konnte, ohne durch die Ammoniaklösung hindurchzugehen. Es zeigte sich durch Lackmuspapier, daß schon in weniger als 5 Minuten um die posit. Spitze Säure sich angesammelt hatte und schon nach ½ Stunde war das Resultat so bestimmt, daß es mit Genauigkeit untersucht werden konnte. Das Wasser hatte einen sauren Geschmack und fällte salpeters. Baryterdauflösung. Aehnliche Versuche stellte Davy mit Kalkwasser und mit schwachen Auflösungen von Kali und Natron als Mittelgliedern an. Der Erfolg war ganz derselbe. Bei starken Auflösungen von Kali und Natron wird sehr viel mehr Zeit erfordert, ehe die Säure wahrzunehmen ist; aber selbst bei einer gesättigten alkalischen Lauge zeigt sich nach einer gewissen Zeit endlich die Säure.

Die Salzsäure von salzs. Natron und die Salpetersäure von salpeters. Kali wurden unter ähnlichen Umständen durch concentrirte alkalische Laugen hindurchgeführt. Davy brachte nun an den negat. Polardraht dest. Wasser, in die Mitte verdünnte Schwefelsäure, Salpetersäure oder Salzsäure, und an den pos. Polardraht eine Auflösung irgend eines Neutralsalzes, welches Kalk, Natron, Kali, Ammoniak oder Magnesia zur Basis hatte. Das Alkali ging, auf ganz gleiche Art, durch die Säure nach der negativen Oberfläche hinüber. Je weniger der concentrirten Säure war, desto leichter schien das Hinüberführen durch sie zu sein. Dieser Versuch wurde mittelst einer Säule von 150 Lagen angestellt: mit salzs. Kalk und Schwefelsäure, ferner mit salpeters. Kali und Salzsäure, mit schwefels. Kali und Salzsäure, mit schwefels. Natron und Salzsäure und mit salzs. Magnesia und Schwefelsäure. In allen diesen Fällen wurden in weniger als 48 Stunden entscheidende

Digitized by Google

Resultate erhalten. Die Magnesia wurde eben so wie die Alkalien übergeführt. Auch Strontian und Baryt gingen mit derselben Leichtigkeit durch Salpetersäure und Salzsäure hindurch, und umgekehrt die Säure durch Strontianwasser und durch Barytwasser. Mehre Versuche über das Hindurchgehen von Säuren und Alkalien durch Auflösungen von Neutralsalzen führten zu ähnlichen Resultaten. In einem dieser Versuche mit der Säule von 150 Lagen befand sich salzs. Baryt an der negat. und dest. Wasser an der posit. Seite und schwefels. Kali in der Mitte; nach 5 Minuten erschien Schwefelsäure in dem Wasser und nach 2 Stunden ebenfalls Salzsäure. Als schwefels. Kali an der posit., dest. Wasser an der negat. Seite und salzs. Baryt in der Mitte war, zeigte sich in dem dest. Wasser Baryt nach einigen Minuten, und das Kali von den entferntesten Theilen der Kette bedurfte ungefähr eine Stunde, um sich darin so stark anzusammeln, daß es erkennbar wurde. Auch mehre Metalloxyde wurden bei Versuchen dieser Art durch Säuren hindurch von der pos. nach der neg. Seite hinübergeführt; dieses ging aber weit langsamer vor sich, als bei den Alkalien. An der pos. Seite befand sich eine grüne schwefels. Eisenauflösung, in der Mitte Salzsäure, an der neg. Seite dest. Wasser. Nach 10 Stunden fing das grüne Eisenoxyd an sichtbar zu werden auf dem zur Verbindung dienenden Amianth der negat. Seite, und nach 3 Tagen hatte sich davon bedeutend viel in der negat. Röhre abgesetzt. — Schwefels. Kupfer, salpeters. Blei und salpetersalzs. Zinn gaben ganz ähnliche Resultate. Wir haben endlich noch die Belege dafür anzuführen, daß, wenn die überzuführenden Substanzen unterweges Stoffe antreffen, mit denen sie unauflösliche Niederschläge bilden, dann das Ueberführen an ihre zugehörigen Pole nicht mehr erfolgt, oder nur in so weit erfolgt, als der Niederschlag selbst ursprünglich in die Kette gebracht, auch ebenfalls einiger Zersetzung fähig gewesen wäre. Es befand sich bei der Säule von 150 Lagen schwefels. Kaliauflösung an der negat., dest. Wasser an der posit. Seite und gesättigtes Barytwasser in der Mitte. Nach 30 Stunden war in dem dest. Wasser noch nicht so viel Säure, daß sie sich hätte wahrnehmen lassen. Nach 4 Tagen erschien sie zwar, aber in sehr geringer Menge. In dem Zwischengefäße hatte sich sehr viel mehr schwefels. Baryt niedergeschlagen; an der Oberfläche befand sich auf der Flüssigkeit eine dicke Lage kohlensauren Baryts und das Barytwasser selbst war so schwach geworden, daß es kaum auf geröthetes Lackmuspapier wirkte. Ganz dasselbe Resultat gab Strontianwasser, nur daß dabei die Schwefelsäure schon nach 3 Tagen bemerkbar wurde. Als Davy am posit. Pole salzs. Baryt, in der Mitte conc. Schwefelsäure und am negat. Pole dest. Wasser angebracht hatte, nahm er eben so, während der 4 Tage, die der Versuch dauerte, keinen Baryt in dem dest. Wasser wahr; in der posit. Röhre hatte sich aber viel Chlor, und in dem Zwischengefäße ein ziemlich bedeutender Niederschlag von schwefels. Baryt gebildet. War salzs. Baryt im posit., schwefels. Kali im mittleren und dest. Wasser im negat. Gefäße, so erschien das Kali im Augenblicke im negativen Wasser; in dem Zwischengefäße setzte sich viel schwefels. Baryt ab, aber im negat. Gefäße konnte während

Digitized by Google

der Dauer des Versuchs (10 Stunden) kein Baryt entdeckt werden. — Als zwischen negativem salzs. Baryt und positivem Wasser schwefelss. Silber war, ging die Schwefelsäure allein in das Wasser über und in dem Zwischengefäße setzte sich viel Chlorsilber ab.

Biot und Cuvier haben überführende Wirkungen als Reactionswirkungen der Säule auf ihre eigenen metallischen Elemente beobachtet. Wenn eine Säule unter einer Glocke voll Luft oder Sauerstoffgas gesperrt und so geschichtet war, daß Zink, feuchter Leiter, Kupfer, Zink u. s. w. auf einander folgten und auf einer Zinkgrundfläche stand, so fand sich, nachdem die Säule eine Zeitlang geschlossen gewesen, bei der Auseinandernehmung derselben, daß sich von jedem Zinkstücke Theilchen losgemacht und an das Kupfer des darüber liegenden Plattenpaares begeben hatten. Waren Kupfer- und Zinkplatten jedes Paares bloß über einander gelegt, so hatten sich überdieß noch Theilchen von Kupfer jedes Plattenpaares an das darüberliegende Zink begeben u. s. f. vom unteren nach dem oberen Theile der Säule. War die Säule auf die umgekehrte Weise geschichtet, so war die Richtung des Fortführens in Bezug auf die Verticale die entgegengesetzte der vorigen, aber die nämliche in Bezug auf die Reihenfolge der Elemente, aus denen der Apparat bestand. Bei ungeschlossener Säule wurden diese Ueberführungen der Metalle nie beobachtet.

Es ist schon gesagt worden, daß bei oxydirbaren Metallen, deren man sich als Leitungsdrähte bedient, an dem pos. Drahte kein Gas erscheint. Der entwickelte Sauerstoff verbindet sich dann sogleich mit dem Metalle zu Oxyd, welches mit dem Wasser Hydrat bildet. Es verbreitet sich, während der Draht angefressen und endlich verzehrt wird, von demselben aus eine nach Beschaffenheit des Metalles verschieden gefärbte Wolke im Wasser. Die zu dem Sauerstoff nur wenig Anziehung habenden Metalle sind: Gold, Platin, Palladium, Rhodium und Tellurium. Das Silber, welches sonst nicht eben leicht oxydirt, verbindet sich doch bei dem galvanischen Processe mit dem Sauerstoffe. Cruickschank beobachtete am Silberdraht zuerst, wie sich an der Spitze des posit. Drahtes eine weiße Wolke zeigte, die allmählig größer, dunkler, endlich pupurfarbig oder gar schwarz wurde. Die Gasentwickelung hörte jedoch am Silberdrahte nicht ganz auf, wie dieses bei Messing- und Kupferdrähten der Fall ist. Gruner bemerkte, daß bei Anwendung von Silbernadeln, die etwa $\frac{1}{2}$ Zoll von einander abstehen mochten, das an dem posit. Drahte sich bildende gelbe Oxyd nach einigen Minuten von der negat. Spitze angezogen wurde, und unter Verwandlung in ein schwarzes Oxyd an dieser Spitze einen sehr schönen schwarzen Dendriten bildete, auch in dem Augenblicke, da die Bildung desselben begann, die Gasentbindung aufhörte und sich die Oberfläche dieser Nadel mit einem schwarzen, lose aufliegenden Ueberzuge bedeckte.

Interessante Beobachtungen hat Brugnatelli mittelst eines Becherapparates gemacht, bei welchem er die Schließung der Kette durch verschiedene Drähte in mehren auf einander folgenden Gläsern herstellte, wodurch abgeleitete Pole an den Enden dieser Drähte entstanden. Es bildeten sich nämlich an dem negat. Ende der Drähte zum Theil kry-

Digitized by Google

stallinische Ueberzüge, welche von dem, vom ihnen gegenüberstehenden pos. Polardrahte übergeführtem Metalloxyde, welches an diesem gebildet und an dem negat. Pole reducirt war und unter gewissen Umständen noch hydrogenisirt (mit Wasserstoff verbunden) wurde, herrührten. Bei diesen Versuchen überzog sich der Golddraht, so weit derselbe in das Wasser reichte, mit einer schwarzen Substanz, welche sich schnell vermehrte; bei einer kräftigen Säule war der Ueberzug nach einigen Stunden in eine schwammige sichtlich aufgelaufene Substanz verwandelt, und sehr dünne Golddrähte gingen endlich ganz in dieselbe über. Brugnatelli hält die Substanz für ein Hydrat von Goldhydrüre. Werden die Golddrähte verwechselt, der mit der beschriebenen Substanz überzogene Golddraht, also an den posit. Pol gebracht, so nimmt der schwammige Ueberzug allmählig an Volumen wieder ab und der Golddraht erhält seine ursprüngliche Farbe und Metallglanz wieder. Ganz mit diesem Goldhydrüre überzogene Drähte zersetzen das Wasser sehr schnell durch Einwirkung der Säure, woraus man sieht, daß dasselbe ein Leiter des Galvanismus ist. Als Brugnatelli zwei Silberdrähte anwendete, deren Spitzen nur drei Linien von einander abstanden, überzog sich der negat. Draht ebenfalls mit einem schwammigten dunkelgrauen Ueberzuge, seiner Ansicht nach Silberhydrat, nach Pfaff Silberhydrüre. Bei Kupferdrähten erschien eine schwarze Substanz am negat. Drahte mit schönen Verästelungen. Brugnatelli hält sie für Kupferhydrüre. Davy entlud die Säule statt durch Metalldrähte mit gut ausgebrannten Kohlen in Form von Streifen. An dem mit dem posit. Pole verbundenen Streifen bildete sich kein Gas, sondern Kohlensäure, welche durch das Wasser verschluckt und durch Prüfung mit Reagentien erkannt wurde. Der vom negat. Pole ausgehende Kohlenstreifen gab erst nach $\frac{1}{2}$ Stunde Gas, und zwar reines Wasserstoffgas mit Beimischung von etwas wenig Kohlenwasserstoffgas.

Besonders merkwürdig ist die Polarisirung, die (in Bezug auf chemische Wirkungen) metallische Zwischenleiter, welche die Continuität einer Flüssigkeit unterbrechen, erleiden, sobald die Polardrähte eines galvanischen Apparates in die Flüssigkeit tauchen. Bringt man nämlich in zwei verschiedene Gläser Flüssigkeit und senkt in diese die Polardrähte, so daß jeder der Polardrähte in einem anderen Gefäße sich befindet, so wird fürs Erste keine durch die galvanische Elektr. bewirkte Zersetzung der Flüssigkeit stattfinden, weder in dem einen noch in dem anderen Gefäße. Dieselbe tritt aber sogleich ein, wenn man einen Metallbogen (Draht oder Streifen) mit seinen beiden Enden zugleich in beide Flüssigkeiten taucht, und zwar entwickeln sich alsdann die Gase nicht allein an den Polardrähten, sondern auch an den in die Flüssigkeiten getauchten Enden des Metallbogens. Die einfachste Form dieses Versuches ist nach Pfaff, daß man zwei mit dest. Wasser gefüllte Glasröhren nimmt, deren eine Enden einerseits durch Drähte mit den beiden Polen der Säule und die beiden anderen Enden durch einen Metalldraht mit einander verbunden sind und durch deren obere Körke feine gekrümmte Glasröhren zum Austreten der entbundenen Gase gesteckt werden. Sind die drei Drähte a, b und c (Fig. 200.) von Platin oder Gold,

Digitized by Google

so entwickelt sich durch die Einwirkung einer hinlänglich starken Säule von 4 Drahtenden Gas und zwar an den Polardrähten a, b auf die bereits abgehandelte Weise, an dem, dem posit. Drahte gegenüberstehenden Ende d des Verbindungsdrahtes Wasserstoffgas, an dem, dem negat. Polardrahte gegenüberstehenden Ende c Sauerstoffgas; der Verbindungsdraht hat also selbst Polarität angenommen, und zwar an jedem Ende die entgegengesetzte von der des ursprünglichen Poles, durch welchen die Polarität erzeugt worden ist.

Wie die Metallbogen, so verhalten sich auch metallische Scheidewände und man kann eine beliebige Menge von Zwischenmetallen anwenden, immer wird das eine Ende oder die eine Fläche des Zwischenmetalles, in welche der posit. elektr. Strom der Kette eintritt, in chemischer Beziehung negat. Polarität, das andere Ende oder die andere Fläche posit. Polarität zeigen. Man erlangt auf diese Weise ein Mittel, die chemische Wirkung der Kette ihrer Summe nach zu verstärken. De la Rive schied ein Gefäß durch eine Platinplatte in zwei Abtheilungen, die mit einer Salzauflösung gefüllt wurden, und ließ in dieselben die Polardrähte der Säule tauchen. Wiewohl nun die Platinplatte fast 1 Fuß Länge hatte und sich senkrecht auf der beide Polardrähte verbindenden Linie befand, und wiewohl das Ende jedes Polardrahts um ungefähr 3 Zoll weit von dieser Platte entfernt war, beobachtete man doch auf beiden Flächen der Platte in ihrer ganzen Länge eine ziemlich beträchtliche Gasentwickelung und die blaugefärbte Salzlösung röthete und grünte sich an allen Stellen, wo sie mit der Platinscheidewand in Berührung war.

Aus Versuchen von Erman, welche zugleich erweisen, daß bei einer Wassersäule, durch welche die Verbindung zwischen den Polen einer Säule hergestellt wird, eine polarische Vertheilung der Elektr. stattfinde, und daß die chemische Zersetzung im Voltaschen Kreise unabhängig von der elektroskopischen Elektr. sei, die er in seinen verschiedenen Theilen zeigt, geht auch hervor, daß eine Polarisirung der Metalldrähte selbst dann stattfinde, wenn sie sich in einer und derselben Wassersäule befinden, welche die beiden Polardrähte mit einander verbindet. Diese Versuche von Erman sind folgende. An einer Glasröhre, welche zum Gasapparate bestimmt war, wurden von der Lampe drei Röhrchen als Tubulaturen angeblasen, wovon eine E (Fig. 201) grade in der Mitte, die beiden anderen C und D in gleichen Abständen von den Enden der Röhre sich befanden. Die Röhre wurde mit Brunnenwasser gefüllt und zwei Platindrähte so hineingesteckt, daß die Spitzen derselben 6 Zoll von einander entfernt standen. Diese Drähte wurden mit den Polen einer sehr wirksamen Batterie von 200 Plattenpaaren verbunden, und zugleich an jedem Drahte ein hinlänglich empfindliches Goldblattelektrometer angebracht. Die Gaserzeugung war wenig lebhaft und die Elektrometer zeigten beinahe dieselbe Divergenz, wie wenn sie mit den völlig isolirten Polen in Verbindung ständen. Bei der Berührung des Wassers mit einem Drahte im Tubulus C, welcher dem posit. Pole A zunächst war, vermehrte sich augenblicklich die Divergenz des Elektrometers an B, beinahe eben so stark, als hätte man den Pol A selbst

Digitized by Google

berührt. Eine Berührung des Wassers im Tubulus D, welcher an den neg. Pol B angrenzte, benahm dem Elektrometer in B alle Divergenz und erhöhte in gleichem Verhältnisse die Divergenz an A. Berührte man aber das Wasser im mittelsten Tubulus E, welcher von den beiden Batteriedrähten gleich weit abstand, so war an keinem der beiden Elektrometer eine Spur von vermehrter oder verminderter Divergenz zu bemerken. Diese polare Vertheilung der Elektr. in der Wassersäule, nach welcher die eine Hälfte posit., die andere negat. Elektr. zeigt, in der Mitte aber ein Indifferenzpunkt stattfand, zeigt sich noch als dieselbe, wenn man der Länge nach in die Wassersäule Drähte hineinbringt, welche winkelrecht gebogen (Fig. 202.) mit dem einen Schenkel aus den Tubulatoren hervorragen. Jeder dieser Drähte zeigt chemische Polarität, oder die beiden chemischen Pole, und zwar an dem Ende, welches dem Polardrahte grade gegenüberſteht, den entgegengesetzten chemisch-elektr. Pol, an dem abgewandten den gleichnamigen, und in der Mitte eine indifferente Zone, so daß sich von dem Drahte A aus, welcher mit dem pos. Pole in Verbindung steht, die chemischen Pole so auf einander folgen: Oxydpol des Drahtes A; Gaspol — indifferente Zone — Oxydpol; Gaspol — indifferente Zone — Oxydpol; Gaspol des Drahtes B, welcher mit dem negat. Pole in Verbindung steht. Das aus dem Apparat hervorragende Ende jedes Metalldrahts wurde am Elektrometer geprüft und es fand sich, daß C, als dem posit. Polardrahte der Batterie näher, auch positive Divergenz gab, und D, als dem negat. Polardrahte zuliegend, das Elektrometer negativ afficirte. Hier erfolgte also die Entwickelung des Wasserstoffgases an dem Theile eines Drahtes, welcher selbst freie posit. Elektr. zeigte, und das Ende eines Drahtes, welches selbst neg. elektr. war, verhielt sich wie ein posit. elektr. Polardraht. Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß man die elektrisch-chemische Polarisirung der Drähte wohl zu unterscheiden hat von der mit freier Spannung begabten Elektr., welche noch nebenher an ihnen auftreten kann, oder die in Strömung begriffene Elektr. von der elektroskopischen, welche als solche sich in Ruhe befindet. Aus mehrfachen Abänderungen seiner Versuche erhielt Erman das allgemeine Resultat, daß, wenn gleich die Metalldrähte an zwei entgegengesetzten Enden elektrisch-chemische Polarität nach dem angegebenen Gesetze der abwechselnden Folge der chemischen Pole zeigen, an ihm noch außerdem freie Elektr. durch das Elektrometer zu erkennen ist, die jedesmal mit der Elektr. derjenigen Wasserhälfte übereinstimmt, in welcher sie sich befinden, also mit derjenigen des ihnen am nächsten gelegenen Poles der Säule selbst. Folgende Versuche zeigten auch, daß da, wo die Indifferenz beider Elektricitäten in der Wassersäule hinfiel, auch eine Indifferenz der chemischen Polarität bemerklich war, d. h. keine Wasserzersetzung stattfand.

Von zwei parallel neben einander gestellten tubulirten Gasapparaten ist der eine (I) (Fig. 203.) mit den Batteriedrähten A (pos. Elektr.) und B (negat. Elektr.) verbunden. Seine beiden Metalldrähte C und D bleiben mit ihren gegen einander gekehrten Spitzen in gleicher Entfernung vom Indifferenzpunkte E und ihre herausragenden Enden biegen sich

Digitized by Google

gegen den zweiten Apparat (II) zurück und durch seine Tubulirungen c und d in denselben hinein, so daß sich ihre Endspitzen auch hier in gleichen Entfernungen vom Indifferenzpunkte e befinden. Bringt man überdieß von E zu e einen dritten Mitteldraht an, der aber bloß in das Wasser der beiden Flüssigkeiten hineinragt, so wird dieser Draht Ee weder chemische noch elektrische Erscheinungen geben, weil sich seine beiden Spitzen in den beiden Indifferenzregionen der beiden Wassersäulen befinden. Zieht man die Drahtenden C und D oder auch c und d, oder auch die ganzen Drähte Cc und Dd gleich weit zurück, so bleibt an den Spitzen E und e alles todt, weil sie nach wie vor immer in der respectiven Indifferenzzone sind. Zieht man dagegen D und C zurück, so rückt im ersten Apparate (I) (Fig. 204.) der Wirkungskreis des posit. Pol A vor und macht E durch Vertheilung negativ. Eben so rückt im zweiten Apparate (II) die Atmosphäre des negat. Pols d verhältnißmäßig vor und macht e durch Vertheilung positiv. Auch gibt E augenblicklich Wasserstoffgas und e Oxyd, wenn man Ee von einem oxydirbaren Metalle genommen hat. Soll umgekehrt E Oxyd und e Gas geben, so braucht man nur C und D wieder vorzuschieben und e und d zurückzuziehen. Zugleich hört auch der gehörig zurückgezogene Draht C oder D des ersten Apparats auf, die Phänomene der Polarität seiner Länge nach zu zeigen und gibt nur Gas oder Oxyd, so daß in dem Apparate (I) nicht mehr Gas und Oxyd gebende Punkte entstehen, als vorher da waren, und E nun die Stelle desjenigen vertritt, welcher dem zurückgezogenen Drahte abgeht.

Nach einer Beobachtung von Grotthuß leistet ein sehr feiner Riß in der Glasmasse einer Röhre denselben Dienst, wie ein Metalldraht als Zwischenbogen. Eine mit Flüssigkeit gefüllte Glasröhre stand in einem mit Flüssigkeit gefüllten Becher und die Polardrähte einer Säule wurden in die Flüssigkeiten geleitet, welche nur durch einen ganz feinen Riß in der Glasröhre in Verbindung standen. In dem Riß fand sich die Flüssigkeit durch Haarröhrchenanziehung eingeengt und an den entgegengesetzten Enden desselben erschienen die chemischen Wirkungen. Diese Polarität erschien besonders auffallend, als salpetersaure Silberauflösung in die Röhre und in das Glas, in welchem dieselbe stand, gebracht wurde. Dem negat. Polardrahte gegenüber entwickelte sich an dem Ende des Risses Sauerstoffgas und am äußeren Ende dieses Risses überzog sich die Glasfläche mit reducirtem Silber in Form von blätterförmigen Dendriten.

Fechner hat Beobachtungen angestellt über den Einfluß, welchen eine Zwischenplatte oder ein Zwischenbogen auf die Kraft der Kette hat. Die Art, wie diese Versuche angestellt wurden, war im Allgemeinen folgende. In eine Zelle A wurde eine Kupferplatte K, und in eine Zelle B (beide mit mehren Seitenfugen versehen) wurde eine Zinkplatte z eingesetzt, und (wenn die Wirkung kupferner Zwischenbogen verglichen werden sollte) dann wurde in A noch eine Kupferplatte K' und in B eine andere Kupferplatte K'' (in die Seitenfugen) eingesetzt. Dann wurde K' und K'' durch einen Draht, K und z durch den Multiplicator verbunden. Hier wirkten K' und K'' zusammen als ein ein-

Digitized by Google

ziger Zwischenbogen. Durch Einschieben anderer Tröge kann man noch mehr Zwischenbogen in die Kette bringen. Die Wirkung bestimmte Fechner unmittelbar bei der Schließung durch die Methode der Oscillationen. Sollte eine Kette mit Zwischenbogen mit einer Kette ohne Zwischenbogen verglichen werden, so wurden für letzten Fall die Erregerplatten in eine und dieselbe Zelle gebracht, so daß der Abstand derselben darin so groß war, daß die Elektr. eine eben so große Strecke Flüssigkeit durchlaufen mußte, als im Fall der Zwischenbogen in 2 Zellen. Für dieselbe Gleichheit der zu durchlaufenden Flüssigkeitsstrecken ward auch bei Vergleichung der Wirkung eines oder zweier Zwischenbogen mit der Wirkung mehrer solcher Bogen stets gesorgt, um den Einfluß eines vermehrten Flüssigkeitswiderstandes zu beseitigen. Durch diese Versuche fand nun Fechner: wenn die Flüssigkeit einer Kette durch homogene Zwischenbogen oder Zwischenplatten unterbrochen wird, so erleidet die Kraft der Kette eine Schwächung dadurch, die sich selbst dann zu erkennen gibt, wenn die Prüfung der Kraft unmittelbar bei der Schließung vorgenommen wird. Diese Schwächung war für den Anfang der Schließung dieselbe, die homogenen Zwischenplatten oder Zwischenbogen in der Flüssigkeit einer Kette von Zink und Kupfer mochten nun von Zink oder Kupfer sein; bei Zwischenbogen von Kupfer nahm aber die Wirkung schneller ab als bei Zwischenbogen von Zink. Die Schwächung wird verursacht durch eine Vermehrung des Leitungswiderstandes, nicht aber durch die Aenderung der elektromotorischen Kraft der Kette. Die anfängliche Schwächung ist in Brunnenwasser stärker als in saurem Wasser, wo sie oft gar nicht zu bemerken war. Die Vermehrung des Gesammtwiderstandes durch Einbringung von Zwischenplatten stand in geradem Verhältnisse der Anzahl der Zwischenbogen. Der Widerstand eines Zwischenbogens war in saurer Flüssigkeit zu Anfang der Schließung genau eben so groß, als der Widerstand des Ueberganges auf dem erregenden Plattenpaare, wenn dieß mit dem Zwischenbogen gleiche erregende Oberfläche darbietet; in Brunnenwasser war der Widerstand des Zwischenbogens dagegen viel größer.

Pohl hat sogar beobachtet, daß unter gewissen Umständen eine in die Flüssigkeit eingeschobene Zwischenplatte eine noch größere Schwächung der Kraft einer Kette bewirken könne, als eine Glasplatte. Pohl nahm einen kleinen, mit verdünnter Salpetersäure gefüllten gläsernen Trog, dessen breite Seitenwände Quadrate von beinahe 2,5 Zoll bildeten und einen Zoll von einander entfernt waren, und in welchem auf der einen Seite eine Zinkplatte und ihr gegenüber auf der anderen Seite ein Kupferblech sich befand. Beide durch den Multiplicator verbunden bewirkten eine Ablenkung von 40°. Er senkte nun in der Mitte zwischen beiden Seitenwänden eine kleine Glastafel, die ein Quadrat von nur 1,5 Zoll Seite bildete, in die Flüssigkeit und die Nadel ging auf 36° zurück. Nachdem die Glastafel aus dem Troge herausgezogen worden, stellte sich die vorige Ablenkung von 40° sogleich wieder her. An der Stelle der Glastafel wurde darauf ein eben so großes Kupferblech in den Trog getaucht und die Ablenkung der Nadel wurde nun noch geringer als zuvor; sie ging auf 32° zurück.

Digitized by Google

Es ist bekannt, daß das Metall am posit. Pole der Kette mit den elektronegativen, das Metall am negat. Pole mit den elektropositiven Bestandtheilen der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit sich zu vereinigen strebt. Diesen Umstand kann man zu Hervorbringung gewisser interessanter Farbenerscheinungen benutzen, welche unter dem Namen der Nobili'schen elektrochemischen Figuren bekannt sind. Läßt man nämlich den einen Pol in eine metallische Spitze sich verlängern, während der andere Poll eine metallische Platte darstellt, welche der Spitze in der Flüssigkeit bis auf eine sehr kleine Weite genähert ist, so sieht man auf der Platte den Absatz der elektropos. und der elektroneg. Substanzen in concentrischen gewöhnlich gefärbten Ringen erscheinen. Fechner gibt folgende Verfahrungsart an.

Eine zugleich einfache und bequeme Vorrichtung, diese Erscheinungen hervorzubringen, ist, daß man zwei starke, aber unten in eine feine Spitze ausgezogene Platindrähte durch zwei, ungefähr in einem Zoll Abstand von einander, gebohrte Löcher eines Querholzes, z. B. des für die Errichtung der galvanischen Säule beschriebenen Gestelles, vertical hindurchgehen läßt, so daß sie sich in den Löchern oder in darin befestigten Korken auf und ab schieben lassen. Unter die Drähte setzt man ein gläsernes oder porzellanenes Gefäß, in welches man eine Metallplatte legt, die man eine oder zwei Linien hoch mit Flüssigkeit übergießt. Man schiebt nun den einen Draht so weit herab, daß er mit der Platte in Berührung kommt, während die Spitze des anderen $\frac{1}{2}$ Lin. oder noch weniger davon entfernt bleibt, oder auch man läßt die Spitzen beider Drähte um so viel von der Platte entfernt und setzt die Drähte jedenfalls mit den Polen der Säule in Verbindung. Hat man die Spitzen beider Drähte in einiger Entfernung von der Platte gelassen, so wirkt sie als eingebrachte Zwischenplatte, und es bilden sich beiden Drähten gegenüber Figuren; ist aber ein Draht mit der Platte in Berührung, so wirkt sie bloß als Verlängerung des Polardrahts und es bildet sich dann auf ihr bloß eine einzige Figur, der entgegenstehenden Drahtspitze gegenüber. Im letzteren Falle erscheint die Figur deutlicher und entwickelter, da hingegen im ersteren, wo positive und negative Figuren zugleich entstehen, eine wechselseitige Störung ihrer Formen stattfindet, wofern man nicht die Drähte in etwas weiterer Entfernung von einander auf die Platte wirken läßt.

Die Farbenerscheinungen hängen natürlich ab von der Beschaffenheit der bei dem Versuche angewandten Flüssigkeit. Ist diese essigs. Blei, so erscheinen auf positivem Gold und Platin nach einigen Augenblicken mehre in Regenbogenfarben schillernde concentrische Ringe, von denen sich einer aus dem andern entwickelt und die am lebhaftesten und schärfsten auf gut polirten Oberflächen erscheinen. Sie kommen an Lebhaftigkeit den Newton'schen Farbenringe gleich, widerstehen einem mäßigen Feuergrade, verschwinden aber durch Salpetersäure. Vermehrt man die Anzahl der negat. Polardrahtspitzen und ordnet diese zu regelmäßigen Figuren, so erscheinen auf der Platte eine der Anzahl der Spitzen entsprechende Anzahl Systeme concentrischer Regenbogenfarben, welche sich jedoch nicht gegenseitig durchschneiden, sondern, sobald sie mit einander

Digitized by Google

in Berührung gekommen sind, nur in der Richtung nach Außen sich vergrößern, so daß sie nur Einen gemeinschaftlichen Umkreis bilden. Bei Brechweinstein entstehen auf posit. Silber 5 verschieden gefärbte (erst ein dunkler, dann ein silberweißer, ein himmelblauer zum Violetten neigender, ein silberweißer, ein violetter) Ringe; auf negat. Silber 5 andere Ringe (schwarz, gelbröthlich, schwarz, hellblau, schwach dunkelgefärbt). Bei essigs. Kupfer und Salpeter erscheint auf negat. Silber ein metallischglänzendes Centrum, dann eine Reihe concentrischer Ringe in folgender Ordnung: Der Mitte zunächst zwei kleine grüne Ringe von nicht sehr intensiver Färbung; dann ein weißer, ein rother, ein grünlicher und endlich eine schön feuerrothe Kupferzone. Um diese Zone schließt sich ein himmelblauer, mit strahlenförmig sich ausbreitenden Linien, gleich einem graduirten Kreise, bezeichneter Ring. Diese Strahlen erstrecken sich bis auf den Kupferring; zuletzt kommt eine zweite ungleich breitere, aber eben so glänzende Kupferzone, umgeben von einem schönen, grünen Ringe, welcher die Figur begrenzt u. s. w. Besonders zu berücksichtigen ist der Umstand, daß, wenn man eine Figur hervorgebracht hat, welche dem einen Pole entspricht, man dieselbe wieder verschwinden machen kann (wenigstens theilweise), wenn man einen elektrischen Strom von entgegengesetzter Richtung darauf wirken läßt. Nobili fand bei einer Mischung von essigs. Blei und essigs. Kupfer auf Platin, als er pos. und neg. Figuren zugleich auf derselben Platte entstehen ließ, daß jede Figur (die einzeln dargestellt vollkommen rund ist) kleiner als bei einzelner Darstellung und mehr oder weniger zusammengedrückt erscheint. Stets bleibt zwischen beiden Figuren ein vollkommen reiner und glänzender Zwischenraum. Zu beiden Seiten dieses Zwischenraumes sind die Umrisse der Figuren so scharf abgeschnitten, daß die dunkle Farbentinte der Platte, welche die Figuren am äußeren Rande umgibt, hier ganz und gar fehlt.

Fechner hat gefunden, daß schon mittelst der einfachen Kette alle Kennzeichen der Nobilischen an sich tragende sehr nette Figuren hervorgerufen werden können. Derselbe gibt zu Herstellung derselben folgende Anweisung. Man legt ein Silber- oder Platinblech in essigs. Kupferauflösung oder Kupfervitriollösung und berührt es mit einer Zinkspitze: sofort bilden sich um diese Spitze concentrische, abwechselnd helle und dunkle Ringe auf dem Blech. Was diese Erscheinung besonders interessant macht, ist, daß, wenn man das Blech nur ein Paar Secunden mit der Zinkspitze berührt hat und letztere dann zurückzieht, die Entwickelung der Erscheinung dann noch weiter fortschreitet, indem die Ringe, namentlich die innern, sehr intensive Farbenabstufungen durchlaufen, zuletzt aber bei mehren Abwechselungen von Blau und Rostgelb stehen bleiben. Etwas anders geartete Ringe kann man erhalten, wenn man die Zinkspitze dem Silber- oder Platinblech auf eine kleine Weite innerhalb der Flüssigkeit gegenüber hält ohne es damit zu berühren, und sie zugleich mittelst eines Drahts mit einem außerhalb der Flüssigkeit hervorragenden Theile des Blechs in Verbindung bringt. Bringt man das Blech mit den Figuren in salzsaures Wasser, so werden die farbigen Ringe sofort kupferroth, dann weiß, und verschwin-

Digitized by Google

den bald gänzlich. Letzteren Versuch kann man gewissermaßen mit ersterem zugleich verbinden, wenn man der Kupferauflösung etwas Säure beimischt. In diesem Falle erhalten sich die farbigen Ringe nur so lange auf dem Blech, als die Zinkspitze darauf wirkt. Entfernt man sie, so äußert die Säure sofort ihren Angriff auf die Ringe und sie verschwinden von Außen herein nach der Mitte zu.

In neuerer Zeit ist es Nobili gelungen, auf galvanischem Wege Metallplatten eine über ihre ganze Oberfläche gleichförmige Farbe zu ertheilen und diese Farbe beliebig abzustufen, so daß man alle Nüancen, welche in den Newtonschen Farbenringen inbegriffen sind, hervorzubringen vermag. Diese verschiedenen Nüancen hängen nur von den verschiedenen Dicken der unter dem Einfluß des Galvanismus auf den Metallplatten sich absetzenden Ueberzüge ab. Nobili hat von diesen Färbungen auf Metallplatten Anwendung zu Einrichtung einer vergleichbaren Farbenscale gemacht. Man erlangt die gleichförmige Farbe auf einer Metallplatte nach Nobili dadurch, daß man der Platinspitze, welche zur Erzeugung der farbigen Ringe dient, eine ebene Platte substituirt.

Das eine galvanische Säule umgebende Mittel ist, wie Beobachtungen gezeigt haben, von Einfluß auf die Wirksamkeit der Säule. Zuerst bemerkte Haldane, daß eine Säule aus 40 Schichtungen Zink und Silber und mit bloßem Wasser getränkten Pappscheiben unter dem Recipienten der Luftpumpe, nachdem das Barometer bis auf $\frac{1}{2}$ Z. herabgesunken war (s. d. Art. Luftpumpe), keine Wasserzersetzung mehr bewirkte. Dieselbe erfolgte jedoch alsbald wieder, sobald Luft zugelassen wurde. Ein anderer Versuch desselben Physikers ist folgender. Es wurden 3 gleich große Säulen aus Silber, Zink und reinem Wasser, jede unter eine andere Glasglocke gestellt. Die erste Glocke war mit atmosphärischer Luft, die zweite mit Sauerstoffgas und die dritte mit Stickgas gefüllt, und die Gase wurden durch Wasser, in welches die Glocken umgestürzt waren, gesperrt. Von den Enden der Säule gingen Messingdrähte aus, und mit diesen waren Kupferdrähte verbunden, die durch das Sperrwasser der Glocken in die Gasentbindungsröhre gingen. Unter der mit atmosphärischer Luft gefüllten Glocke gab die Säule Oxyd und Gas, aber in geringerer Menge als sie beim Zutritte der freien Luft gegeben haben würde; die Säule unter der Glocke mit Sauerstoffgas gab das meiste Gas und Oxyd; die Säule im Stickgase dagegen gab weder Gas noch Oxyd und zeigte überhaupt keine merkliche Wirkung. Genauere Versuche sind von Davy angestellt worden. Er bediente sich in seinen Versuchen horizontaler Säulen, denen er mit einem Harzkitte an zwei oder drei Stellen längs den Seiten, ohne dadurch die freie Communication der Luft zu unterbrechen, die gehörige Festigkeit gab, damit sie schief gestellt nicht aus einander fielen. Da er sich durch vorläufige Versuche überzeugt hatte, daß eine in Wasser getauchte Säule in atmosphärischer Luft, sobald man sie herauszieht, ohne abgetrocknet zu werden, wiewohl schwächer als zuvor, wirkt, und wiederholtes Eintauchen dann ihre Wirkung nicht weiter vermindert, so brachte er stets Säulen, die in künstlichen Gasarten wirken sollten,

Digitized by Google

durch Wasser, welches das Gas sperrte, in den damit gefüllten Recipienten. Mit den Enden der Säulen waren Drähte verbunden, die in eine kleine Röhre voll destillirten Wassers gingen und die er von außen mit Wachs bekleidet hatte. Eine kleine Säule aus Zink, Silber und Pappscheiben, welche letztere mit Wasser, das eben gekocht hatte, angefeuchtet waren, wurde unter Wasser gesetzt, das eben gekocht hatte und noch warm war. Um es vor der Berührung mit der atmosphärischen Luft zu sichern, wurde ein harziger Kitt über das Wasser verbreitet und an das Glas, nachdem es sich etwas abgekühlt hatte, befestigt. Nach zwei Tagen wurde die Säule aus dem Wasser genommen. Kaum waren die Zinkplatten etwas angegriffen. Im Wasser der mit der Säule verbundenen Röhre hatte sich kein Oxyd abgesetzt und kein Gas entwickelt. Eine gleiche Säule unter Wasser, welches mit der atmosphärischen Luft in Berührung war, hatte etwas Gas entbunden und viel weißes Oxyd abgesetzt. Auch waren die Zinkplatten an der äußeren und inneren Seite weiß geworden. Aehnliche Säulen in reinem Wasserstoffgas, Stickgas, oxydirtem Stickgas und Kohlenstoffwasserstoffgas zeigten das Zink nicht stärker oxydirt, als in dem ersten Versuche. Wurde die Säule durch das Sperrwasser in eine dieser Gasarten gebracht, so hörte sie nach 5 bis 6 Minuten auf, in ihrer Röhre Gas zu entbinden, indem (nach Davy) während dieser Zeit die atmosphärische Luft sich verzehrte, die in dem Wasser zwischen den Platten aufgelöst war. Frisches Gas von gleicher Beschaffenheit zugelassen ertheilte der Säule ihre Wirksamkeit nicht wieder. Tauchte man aber die Säule in Wasser, welches mit atmosphärischer Luft geschwängert war, so stellte sich augenblicklich wieder Gasentbindung in der Röhre ein. Zahlreiche Versuche belehrten Davy, daß, wenn die Luftverdünnung so weit getrieben ward, daß die Barometerprobe nur noch auf 0,6 Zoll stand, alle Wirkung der galvanischen Säule aufhörte, auch wenn die Gasröhre sich außerhalb des Recipienten befand. Daß der Grund hiervon in der Fortschaffung alles athmirenden Sauerstoffs im Wasser durch Auspumpen der in demselben enthaltenen atmosphärischen Luft und der darum nicht weiter möglichen Oxydation des Zinks, welcher durch ganz reines Wasser nicht oxydirt werden kann, liege, schien daraus hervorzugehen, daß eine Säule, deren feuchter Leiter Salpetersäure oder verdünnte Schwefelsäure war, in jenem luftverdünnten Raume noch wirksam blieb. Dieser Versuch wurde mit einem Trogapparate von 12 Plattenpaaren angestellt, welcher mit Wasser befeuchtet war, zu welchem in dem einen Falle ein Tropfen Salpetersäure in jede Zelle, in dem anderen ein Tropfen verdünnte Schwefelsäure gebracht worden war. Durch letztere Batterien konnte die Wasserzersetzung eine halbe Stunde unterhalten werden. Die Oxydation an dem mit dem positiven Pole verbundenen Silberdrahte war indessen geringer als in atmosphärischer Luft.

Bei anderen Versuchen fand Davy, daß eine Säule aus 36 Platten Zink und Kupfer von 5 Zoll Seite und mit reinem Wasser geschichtet, in Stickgas und Wasserstoffgas ihre Kraft in etwa 2 Tagen verlor, dieselbe in atmosphärischer Luft darauf wieder erhielt und eine noch größere Inten-

Digitized by Google

sität im Sauerstoffgase zeigte. In Salpetergas zersetzte eine Säule das Wasser langsamer als in atmosphärischer Luft. Eine Säule, die ihre Wirksamkeit in mephitischen Gasarten verloren hatte, erhielt dieselbe nicht wieder, wenn sie in mit oxydirtem Stickgas geschwängertes Wasser getaucht wurde, wohl aber, wenn sie in verdünnte Salzsäure eingetaucht wurde. Eine verstärkte aber nur kurze Zeit anhaltende Wirksamkeit erhielt die Säule durch Eintauchen in verdünnte Salpetersäure. Die Absorption des Sauerstoffgases der Luft durch die Säule ist von mehren Physikern beobachtet worden; nicht ganz aber stimmend mit den übrigen Beobachtungen von Davy sind die Resultate der Versuche von van Marum und Pfaff. Dieselben fanden im luftverdünnten Raume, wo die Barometerprobe nur auf 5 Linien stand, eine Zink-Kupfersäule von 60 Schichtungen, deren Pappscheiben mit Salmiakauflösung getränkt waren, in keiner ihrer Wirkungen, namentlich auch nicht in der Wasserzersetzung geschwächt; auch nachdem sie eine Stunde sich darin befunden hatte. Sie zeigte gleichfalls unverändert ihre ursprüngliche Spannung. Als darauf Kohlenwasserstoffgas in den leeren Raum gelassen wurde, zeigte sich die Säule immer noch unverändert in ihrer Wirkung, eben so wie im Stickgase. Im Sauerstoffgase waren die Erschütterungen viel stärker und die Funken in demselben hervorgelockt größer und lebhafter, und als demnächst der luftverdünnte Raum wieder hergestellt wurde, schien die Wirksamkeit der Säule in demselben bedeutend geschwächt, und eine Wiederholung dieses Versuchs durch neues Zulassen von Sauerstoffgas und abermaliges Auspumpen zeigte denselben Erfolg.

Man hat namentlich an Zink und Eisen, welche, wie sie im Handel vorkommen, sehr mit anderen Stoffen verunreinigt sind, Erscheinungen wahrgenommen, welche auf einen elektrischen Gegensatz der Theile dieser Metalle hindeuten. Diese Erscheinungen sind nämlich analog denjenigen, wo sich durch Färbung von Pflanzenstoffen oder Reduction von metallischen Verbindungen ein gegenwärtiger elektrischer Strom äußert, namentlich hat Jäger nachstehende Versuche angestellt.

1) Wenn man ein mit Curcumädecoct mäßig dunkelgefärbtes, mit dest. Wasser genäßtes Papier auf eine polirte Zinkplatte legt, gleichviel ob sie isolirt ist oder nicht, so entstehen bald orangerothe geschlängelte Flecke auf dem Papier mit gelben Zwischenräumen. Die rothen Flecke haben genau dieselbe Farbe, die eine schwache alkal. Auflösung auf dem gelben Papier hervorbringt, am stärksten sind sie, so lange das Papier noch feucht ist, doch verschwinden sie beim Abtrocknen nicht mehr ganz, selbst wenn das Papier einer beträchtlichen Hitze ausgesetzt wird. Beim Abnehmen des Papieres von der Platte bemerkt man, daß die gerötheten Stellen des ersten genau den nicht oxydirten blank gebliebenen und oft mit etwas bunten Farben angelaufenen Stellen der letzteren entsprechen.

Die Umrisse der gerötheten Flecke bestehen meist aus gegen das Centrum jedes Fleckes converen Linien, welche durch ihr Zusammenstoßen nach außen hervorspringende Spitzen bilden, indessen die dazwischen liegenden gelb gebliebenen Flecke nach außen convexe Umrißlinien haben,

Digitized by Google

die in einspringenden Winkeln zusammenstoßen. Oft sind unter den rothen auch weiße Flecke oder um sie herum gehen weiße Ränder; diese Zerstörung der Farbe findet aber nur am Ende der Operation und besonders in Fällen statt, wo sie vorzüglich gut gelungen ist.

2) Legt man auf eine polirte Zinkplatte ein mit Lackmusdecoct mäßig dunkel gefärbtes, mit dest. Wasser frisch getränktes Papier, so entstehen unter denselben Umständen bald rosen- und blutrothe Flecke auf dem Papier, deren Figur mit der der gelb bleibenden Stellen des Curcumápapiers in 1) übereinkommt. Der blaue Grund, von dem sie umflossen sind, wird bei weitem reiner blau, als er vor dem Versuche war. Die Röthung des Papiers ist auf der dem Zink zugewandten Seite bei weitem am stärksten, was bei Curcumápapier in 1) wenigstens nicht so auffallend bemerkt wird, und bleibt dauerhaft auch nach dem Trocknen und bei einer sehr hohen Temperatur. Die gerötheten Flecke entsprechen ganz genau den oxydirten und angegriffenen Stellen des Zinkes, die blau gebliebenen Stellen hingegen liegen auf den blanken Theilen der Metallplatte.

3) Eben dieselben Veränderungen entstehen zugleich, wenn man auf eine Zinkplatte ein genetztes Lackmuspapier und über dieses ein genetztes Curcumápapier legt, und beide, um das Zusammenfließen der Farben zu verhüten, durch ein dazwischen gelegtes genäßtes weißes Papier trennt: auch bei Zwischenlegung mehrer weißen Papierstreifen bleibt die correspondirende und nur schwächer werdende Färbung noch sichtbar.

4) Analoge Erscheinungen entstehen, wenn man mit Fernambuck-, Herbstrosen-, Rittersporn-, Rhabarber-Infusum oder mit Veilchensyrup gefärbte Papiere anwendet.

5) Legt man ein in äußerst verdünnter Salzsäure genäßtes Curcumápapier auf Zink, so verändert es seine Farben gar nicht, oder nur wenig. Ein durch verdünntes Kali blaßröthlich gefärbtes Curcumápapier hingegen wird, auf Zink gelegt, hellgelb gefleckt, und die nicht gelb gewordenen Stellen sind höher roth als zuvor und zum Theil weiß. Sehr blaß durch Salzsäure gerötheten Lackmuspapier wird blau gefleckt, und sehr blaß durch Alkali gebläutes Fernambuckpapier bekommt rothe Flecke. Die Salzsäure hebt also die Wirkung des bei dem Versuche sich bildenden oder frei werdenden Alkali's auf das Curcumápapier auf, und umgekehrt hebt das sich bildende Alkali die Wirkung der Salzsäure auf das Lackmuspapier auf.

6) Von allen den merkwürdigen Wirkungen, welche der Zink auf die gefärbten Papiere äußert, zeigt sich auch nicht eine Spur, wenn man das Gold auf dieselbe Art mit ihnen in Contact bringt. Weder Curcumá- noch Lackmus- noch Fernambuckpapier wird nur im Geringsten anders, als auf einer reinen Glasscheibe afficirt, wenn man es, mit dest. Wasser angefeuchtet, auf isolirtes oder mit der Erde verbundenes Gold legt.

7) Werden Zink und Gold auf irgend eine Art, doch so, daß keine geschlossene Kette zwischen ihnen stattfindet, combinirt, so wirkt Zink und Gold auf die reagirenden Papiere durchaus nicht anders, als jedes dieser Metalle für sich darauf gewirkt haben würde. So bringt

Digitized by Google

Gold auf einer Zinkplatte liegend und mit naſſem Papier bedeckt in dieſem durchaus keine Veränderung hervor, Zink auf Gold liegend bloß eine eben ſolche, als auch ohnedem. Eben ſo wirken Zink und Gold mit einander in Berührung ſtehend und beide mit nicht zuſammenhängenden naſſen Papieren einzeln bedeckt, nicht anders, als jedes einzeln für ſich gewirkt haben würde. — Auch wenn man zwiſchen ein Zink- und ein Goldſtück über einander liegende Scheiben von Lackmus- und Curcumápapier mit dazwiſchenliegender weißer Papierſcheibe bringt, zeigen ſich ſelten andere Erſcheinungen, als der Zink für ſich gibt. Doch ſcheint das Gold zuweilen vorübergehend in dieſer Combination eine ſchwache alkaliſche Wirkung zu äußern, ohne daß indeß Jäger die Bedingungen auszumitteln vermochte, unter welchen dieſes gelingt. Auch wenn man Zink und Gold abgeſondert von einander auf Glas legt, und beide mit zuſammenhängenden naſſen Papieren belegt, bemerkt man manchmal auf dem Golde eine ſchnell vorübergehende ſtarke alkaliſche Färbung, manchmal auch nicht.

8) Verbindet man Zink und Gold mittelſt reagirender Papiere ſo mit einander, daß ſie eine geſchloſſene Kette bilden, ſo zeigt ſich an dem Golde, ganz wie zu erwarten (weil hier die Wirkung eines galvaniſchen Kreiſes vorhanden), eine alkaliſche, an dem Zink eine ſaure Reaction, wie aus folgenden Verſuchen erhellt.

Liegt auf der Zinkplatte eine Scheibe Lackmuspapier, darüber eine von weißem und zu oberſt eine von Curcumápapier und über dieſer eine Goldmünze ſo, daß der Rand derſelben unmittelbar die Zinkplatte berührt: oder verbindet man ſie mit dieſer durch einen Streifen geplätteten Bleies: ſo entſteht auf dem Curcumápapier ſchnell ein hochrother Rand um das Goldſtück herum und die ganze Fläche deſſelben unter dem Goldſtück wird erſt hochroth, dann weiß und völlig farbelos. Zugleich entſteht auf dem Lackmuspapier ein rother dem Goldſtück entſprechender Discus. — Legt man umgekehrt das Curcumápapier auf den Zink, und das Lackmuspapier unter das Gold, ſo wird erſteres beinahe gar nicht, wenigſtens nicht in der Mitte gefärbt, und letzteres bekommt einen weißlichblauen Discus und höchſtens an den Ecken einige rothe Flecken. Legt man oben und unten Fernambuckpapier, ſo wird das obere blau und endlich weiß und das untere höher roth als zuvor. Die Fläche des Zinks wird bei dieſen Verſuchen ohne Schlangenfiguren zuſammenhängend und gleichförmiger oxydirt. — Am deutlichſten zeigen ſich dieſe Erſcheinungen, wenn man zwiſchen die gefärbten Papiere mehre Blätter weißen Papiers einſchiebt, indem dadurch die Wirkungen, welche der Zink für ſich hervorbringt, in den oberen Papieren unſichtbar, und ſo von denen, die der Mitwirkung des Goldes zuzuſchreiben ſind, getrennt werden.

Die hier unter 8) erwähnten Erſcheinungen unterſcheiden ſich von denen, welche bei bloßer Anwendung von Zink ſtattfinden, auffallend darin, a) daß die Färbungen bei weitem ſchneller vor ſich gehen; b) daß auf der Zinkfläche die alkaliſche Färbung beinahe völlig wegfällt, die ſaure hingegen eine zuſammenhängende Fläche bildet, wogegen auf bloßem Zink beide Farben in den verſchiedenen Papierſchichten fleckweiſe

Digitized by Google

neben einander erſcheinen und die Zeichnungen jeder Art auf dem oberſten Papier mit denen auf dem unterſten genau coincidiren; jedoch daß die auf dieſe Art abgeſonderte alkaliſche Färbung auf weit größere Entfernungen von der Zinkfläche noch ſichtbar gemacht werden kann, als bei bloßem nicht mit Gold verbundenen Zink. Letzteres wies Jäger noch durch einen beſonderen Verſuch nach, wo er durch einen 6 Zoll hohen zuſammengerollten, mit deſt. Waſſer befeuchteten Pappcylinder den Kreis zwiſchen dem mit reagirenden Papieren belegten Gold und Zink ſchloß.

9) Wenn man ausgekochtes deſt. Waſſer in einem mit Queckſilber geſperrten Gefäße lange Zeit mit einer darin aufgehängten Zinkſtange in Berührung läßt, ſo erhält dieſes Waſſer die Eigenſchaft, mit dem darein getröpfelten Herbſtroſenaufguß eine grünliche Farbe darzuſtellen. Eben dieſe Wirkung äußert auch gemeines Waſſer, das lange Zeit in einem offenen Glaſe über Zink geſtanden hat.

Bei Gelegenheit der Anführung der Jägerſchen Beobachtungen bemerkt Fechner, daß er die Jägerſchen Verſuche mit mehren Abänderungen wiederholt habe. Weit deutlicher, ſagt er, als mittelſt gefärbter Papiere, läßt ſich die Entwickelung des Phänomens verfolgen, wenn man unmittelbar eine Schicht wäßrige Lackmustinktur auf eine Zink- oder Eiſenplatte ausbreitet. Man ſieht in dieſem Falle an den unterſchiedenen Stellen des Zinks oder Eiſens ſehr kleine dunkelſchwarze Punkte ſich entwickeln, jeden dieſer Punkte ſich aber allmählig auf dem Zink mit einem rothen, auf dem Eiſen mit einem braungelben, an Umfang immer mehr bis zu gewiſſem Grade zunehmenden Hofe umgeben, doch ſo, daß das ſchwarze Centrum deutlich geſchieden bleibt von ſeinem helleren Hofe. Bei iſolirt von einander ſtehenden Centris behalten die Höfe eine kreisförmige Geſtalt; ſtehen ſich jedoch die Centra, wie an den meiſten Stellen, näher, ſo fließen ihre Höfe zuſammen und bilden ſo ähnliche unregelmäßige Figuren, als man auch auf dem Lackmuspapiere wahrnimmt. Die Färbung der Mittelpunkte und ihrer Höfe haftet an der Zinkplatte ſelbſt, und läßt man die Lackmustinktur darauf eintrocknen, ſo zeigt ſich an dieſen Stellen das Zink oxydirt und aller Farbenſtoff darauf niedergeſchlagen, ſo daß die zwiſchenbefindlichen Stellen vollkommen blank, frei ſowohl von Oxyd als Farbe erſcheinen. Nach Fechner verrathen die ſchwarzen Punkte das Eingeſtreutſein eines fremdartigen Stoffes, wahrſcheinlich Kohlenſtoff, der überhaupt häufig in Zink und Eiſen enthalten und ſehr negativ elektriſch iſt.

Ueber den Umſtand, daß beim Eiſen einige Stellen ſehr ſchnell, andere dagegen weniger oder mehr langſam Reduction von Metallauflöſung bewirken, hat beſonders Wetzlar intereſſante Verſuche angeſtellt. Bei denſelben bediente er ſich vierkantiger Eiſenſtäbchen 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang, $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll breit und einige Linien dick, welche vor jedem Verſuche ſorgfältig überfeilt und ſo blank gemacht wurden.

Bringt man auf die Oberfläche eines ſolchen blanken Eiſenſtäbchens einige Reihen einzelner Tropfen einer mäßig concentrirten Auflöſung von ſalpeterſ. Kupfer, ſo wird man gewahr werden, daß das Verhalten der einzelnen Tropfen ein durchaus verſchiedenes iſt. Einige zer-

Digitized by Google

setzen sich, so wie sie das Eisen berühren, und überkupfern es; andere erst nach einer oder mehren Minuten; andere nach einer oder etlichen Stunden; einige wenige sind noch nach vielen Tagen unzersetzt. — (Warum diese letzteren in einer so langen Zeit nicht krystallisiren, ist leicht einzusehen, da das salpeterss. Kupferoxyd ein zerfließliches Salz ist.) Bringt man auf mehre Stäbchen zugleich Tropfen, so findet man, daß während z. B. auf einem fast alle Tropfen innerhalb einer Stunde zersetzt werden, auf einem anderen die meisten sehr lange unverändert bleiben. Dieses verschiedene Verhalten der einzelnen Tropfen hängt jedoch nicht von einer sichtbar verschiedenen Beschaffenheit der Oberfläche des Eisens ab. Ein polirtes, fast spiegelglattes Stäbchen zeigte fast keine einzige Stelle, die von einem auf dieselbe gesetzten Tropfen nicht bald überkupfert worden wäre, während auf anderen, die eine rauhe Oberfläche besaßen, fast alle Tropfen sehr lange unzersetzt blieben. Manchmal war es grade eine rissige Stelle, auf welcher ein Tropfen keine Veränderung erlitt. Merkte sich Wetzlar genau die Stellen, welche nicht überkupfert wurden, und überfeilte das Eisen von Neuem, so zeigten grade dieselben Stellen nun mitunter eine reducirende Kraft. Vereinigt man mehre nahe bei einander stehende unzersetzte Tropfen zu einem einzigen größeren, so bleibt auch dieser unverändert; zieht man aber nun mit einem Glasstäbchen eine Linie zu ihm hin von einer in der Nähe befindlichen sich überkupfernden Stelle, so verbreitet sich augenblicklich die Reduction von dieser über die ganze von dem vereinigten Tropfen bedeckte Eisenfläche. Es läßt sich in obigem Versuche selbst eine Differenz in der Intensität und Stärke der positiven oder reducirenden Stellen nachweisen. Bei einiger Aufmerksamkeit auf den Hergang der Reduction in dem einzelnen Tropfen wird man nämlich finden, daß, wenn sie auch gleichzeitig in einigen beginnt, sie dennoch in ungleichen Zeiten vollendet wird. Ist in diesem z. B. die blaue Farbe in einigen Augenblicken verschwunden und der Tropfen in salpeterss. Eisenoxydul umgewandelt, so dauert diese Veränderung bei dem anderen eine weit längere Zeit; bei dem ersteren fällt das Kupfer schnell und zwar dunkelfarbig oder braun nieder, bei dem anderen überzieht sich die Oberfläche des Eisens nur sehr langsam mit einer rothen Kupferhaut, bei jenem steigen während der Zersetzung viele Gasbläschen in den Tropfen auf, bei diesem ist die Entbindung des Gases viel seltener und sparsamer. In letzterem Falle ist offenbar die reducirende Kraft der positiven Stelle von geringerer Intensität, das Kupfer fällt daher langsam und rein, also mit seiner ihm zukommenden rothen Farbe nieder; es wird aus demselben Grunde weniger Gas entwickelt. Im ersteren Falle hingegen findet das Gegentheil statt; die Zersetzung geht rasch vor sich, die positive Stelle vermag nach Wetzlar's Meinung nicht nur die Kupferlösung, sondern selbst einen kleinen Theil des mit Beginn der Reduction entstehenden salpeterss. Eisenoxyduls zu zersetzen, wo nun die gefällten Eisentheilchen sich sogleich mit dem Kupfer legiren und dem Niederschlage eine dunklere Farbe ertheilen sollen.

Die Verschiedenheit des Eisens in Bezug auf Reduction des Kupfers findet indeß nur bei gewöhnlicher Temperatur statt. Wurde die

Digitized by Google

Temperatur erhöht, so wurden die aufgetröpfelten Tropfen überall auf dem Eisenstäbchen zersetzt. Gleichfalls fand fast überall auf dem Eisen Zersetzung der salpetersauren Kupferlösung statt, wenn dieselbe mit 2 bis 3 Theilen Wasser verdünnt wurde, ehe sie auf das Eisen getröpfelt wurde. Eisenstäbchen in eine verdünnte Lösung eingesenkt, werden bald allenthalben mit Kupfer überzogen. Wenn man aber in verschiedene Gläser unter die Auflösung von etwas säuerlich reagirendem kleesauren Kupferoxyd-Ammoniak Eisenstäbchen legt, so werden einige schnell und sehr schön überkupfert, während andere unverändert bleiben, solche nämlich, auf deren Oberfläche auch durch einzelne Tropfen nirgends Reduction wahrnehmbar war. Bei Erhöhung der Temperatur wurden indeß auch diese mit Kupfer überzogen. Stahl überkupfert unter salpeters. Kupferlösung nicht. Analog ist den beobachteten Erscheinungen die bekannte Thatsache, auf welche Wetzlar auch hinweist, daß das blankste Eisen in feuchter Luft nur an einigen Stellen röstet, an anderen noch lange seinen Glanz behält. Unter Wasser läuft es zuerst an einigen Stellen an, ist endlich nach einiger Zeit ganz mit Oxyd überzogen, streicht man nun das Oxyd ab, so zeigt sich, daß nur einige Stellen des Eisens angegriffen, andere nur von lose aufliegendem Oxyd bedeckt sind. Fechner hat auch am Zink beobachtet, wie die Oxydation unter Wasser anfangs nur an einigen Stellen in runden dunklen von einem hellen Rande umgebenen Flecken auftritt.

Zu den merkwürdigsten Erscheinungen, welche durch die galv. Kette hervorgebracht werden, gehören diejenigen, welche unter der allgemeinen Benennung der elektrochemischen Bewegungen von Flüssigkeiten zusammengefaßt werden. Die Natur dieser Erscheinungen ist indeß bis jetzt so wenig erkannt worden, daß es schwer hält, bei den verschiedenen Beobachtungen, welche über dieselben viele und ausgezeichnete Physiker angestellt haben, das Wesentliche von demjenigen abzuscheiden, was durch zufällige Einflüsse hinzugekommen. Ich werde daher von den angestellten Versuchen und Beobachtungen nur einige herausheben.

Im Allgemeinen bedient man sich zu Aufzeigung dieser elektrochemischen Bewegungen des reinen Quecksilbers. Dasselbe wird in offene Gefäße gethan und mit einer sauren alkalischen oder salzigen Flüssigkeit übergossen. So wie nun mit diesem Quecksilber die Polardrähte einer Säule in mittelbare oder unmittelbare Verbindung gesetzt werden, zeigen sich in dem Quecksilber, je nach der Art dieser Verbindung, verschiedenartige Bewegungen. Taucht man nämlich die Polardrähte in die Flüssigkeit so ein, daß sie nur durch diese, nicht aber unmittelbar, mit dem Quecksilber in Verbindung stehen, so ist in diesem Falle das Quecksilber offenbar ein die Flüssigkeit unterbrechender Zwischenleiter und wird dem gemäß selbst Polarität annehmen. Wird ferner der eine Polardraht durch die das Quecksilber deckende Flüssigkeit hindurch in das Quecksilber selbst eingesenkt, während der andere Polardraht nicht in das Quecksilber, sondern nur bis in die Flüssigkeit reicht, so wird das Quecksilber eine metallische Verlängerung des mit ihm in Verbindung gesetzten Polardrahtes bilden. Wenn endlich beide Drähte in das Quecksilber hineinreichen, also in unmittelbarer Verbindung mit ihm stehen, so strömt die

Digitized by Google

Elektr. zwischen beiden Drähten frei durch dasselbe hindurch, ohne daß Pole an dem Queckſilber hervortreten. Um in angegebener Weiſe mit Leichtigkeit die Polardrähte bald hier bald dort, bald höher bald tiefer in die Flüſſigkeit oder das Queckſilber einzuſenken und dabei doch fortwährend ihrer jedesmaligen Stellung möglichſte Sicherheit zu geben, kann man ſich folgenden von Schweigger angegebenen Apparates bedienen. ABCD (Fig. 205.) iſt ein mit Stellſchrauben verſehenes Bret. An demſelben ſind Leiſten befeſtigt, um, da mit Queckſilber darauf experimentirt wird, ein etwaiges Ablaufen deſſelben zu verhüten. EF und GH ſtellen zwei Glasſtäbe vor. An jedem derſelben läßt ſich eine kleine durch eine Stellſchraube zu befeſtigende Meſſingröhre K und L auf und ab ſchieben. Horizontal an dieſer Meſſingröhre iſt eine zweite kleine Meſſingröhre befeſtigt, worin ſich ein Stab von Meſſing oder Kupfer (mn und op) hin und her ſchieben und gleichfalls mit einer Stellſchraube befeſtigen läßt. Dieſer Kupferſtab iſt vorn aufgeſchnitten, ſo daß er eine federnde Kluppe bildet, welche durch eine Schraube (i und v) angezogen werden kann. In dieſen Kluppen ſind die Platindrähte r und q befeſtigt und in denſelben Kluppen können die Polardrähte unmittelbar an r und q angepreßt werden, damit ſie in innigſter Berührung damit ſeien. Unter die Polardrähte wird dann das Gefäß angebracht, welches das Queckſilber und die leitende Flüſſigkeit enthält, wie die Figur zeigt. Bequemerweiſe kann man ſich eines Uhrglaſes bedienen, welches auf den Ring eines chemiſchen Stativs gelegt wird.

Wenn die das Queckſilber bedeckende Flüſſigkeit eine Auflöſung von Kali oder kohlenſaurem Kali iſt, und der negat. Polardraht mit dem Queckſilber in Berührung gebracht, der poſitive aber nur dem Queckſilber gegenüber in die Flüſſigkeit geſenkt wird, ſo treten nachſtehende Erſcheinungen ein, welche ähnlich auch bei Ammoniakflüſſigkeit, Baryt- und Strontianwaſſer und alkaliſchen Salzauflöſungen, wie Glauberſalz, Salpeter, ſalzſ. Kali, Kochſalz, Salmiak, ſalzſ. Kalk, ſtattfinden. Fig. 206. dient zur Erläuterung dieſer Erſcheinungen, indem der äußere Kreis den Rand des Gefäßes, der innere den Umriß der Queckſilbermaſſe, A den nur in die Flüſſigkeit und B den in das Queckſilber eingeſenkten Polardraht, die krummen in Pfeile auslaufenden Linien endlich, die Richtungen der auftretenden Strömungen bezeichnen. So wie der Kreis durch Einbringung der Drähte in angegebener Weiſe geſchloſſen wird, plattet ſich das Queckſilber ſogleich ab, indem es ſich ausbreitet, und es erſcheinen auf demſelben die durch die krummen Linien in der Figur angegebenen Strömungen vom poſit. zum negat. Polardrahte. Bei Anwendung ſtärkerer Säulen iſt die Abplattung mit einer Art von Wälzung oder Rotation der Queckſilberhalbkugel wie um einen Mittelpunkt verbunden, wobei der Rand des Queckſilbers gleichſam undulirte (wogte) und ſich faltete. Dieſer Strom dauert noch fort, wenn der Draht wieder aus dem Queckſilber herausgezogen, aber in der Flüſſigkeit gelaſſen wird, ja er nimmt ſogar an Geſchwindigkeit zu. Am negat. Drahte entwickeln ſich Gasblaſen, welche in den Strom hineingezogen werden und dieſen noch bemerklicher machen. Einige Zeit darauf hört

Digitized by Google

indeß der Strom auf und zugleich zieht sich das Queckſilber etwas zuſammen. Werden hierauf die Drähte aus der Flüſſigkeit herausgezogen und aufs Neue die Kette durch Einſenkung der Drähte in die Flüſſigkeit geſchloſſen, ſo tritt der angegebene Strom, der positive Strom, nicht wieder ein. Nach Entfernung des negat. Polardrahtes aus dem Queckſilber ſetzt ſich der poſit. Strom um ſo länger und mit um ſo größerer Geſchwindigkeit fort, je längere Zeit vorher der negat. Draht mit dem Queckſilber in Verbindung geſtanden hatte. Nach Herſchel iſt der Grund dieſer Erſcheinung der, daß ſich durch den elektr. Strom Kalium reducirt und mit dem Queckſilber am negat. Pole verbunden hat. Dieſe Annahme wird dadurch beſtätigt, daß, wenn zu einer Quantität reinem Queckſilbers gleich anfangs etwas Amalgam eines Alkalimetalles zugemiſcht wird, ſich ſogleich ein ſtarker poſit. Strom erzeugt, ſobald der Kreis geſchloſſen wird, obſchon keiner der Polardrähte das Queckſilber berührt. Das gebildete Alkalimetall muß ſich, ſobald der negat. Polardraht außer Berührung mit dem Queckſilber tritt, wiederum zu Alkali oxydiren und in dem Maße, in dem dieſes geſchieht, hört die Strömung auf.

Geſetzt der negat. Draht ſei wieder mit dem Queckſilber in Berührung und der poſit. Draht vorher nur in die Flüſſigkeit werde nun auch in das Queckſilber eingeſenkt, ſo nimmt das Queckſilber ſogleich diejenige Krümmung an, welche es außer dem Einfluſſe der Polardrähte in der Flüſſigkeit haben würde, zieht ſich alſo gegen vorher zuſammen, und überhaupt ſind keine Bewegungen bemerklich. Wird aber der poſit. Polardraht nicht wirklich in das Queckſilber eingeſenkt, ſondern nur demſelben (welches vorher abgeplattet und ausgebreitet war) bis zur Berührung genähert, ſo daß bei der hierdurch ſtattfindenden Zuſammenziehung das Queckſilber von ſelbſt wieder außer Berührung mit dem poſit. Drahte kommt, ſo tritt ein Wechſel von Zuſammenziehung und Ausdehnung des Queckſilbers ein, welchen Pfaff mit den Pulſationen des Herzens vergleicht. Erman hat dieſe Pulſationen in einer anderen Form dargeſtellt. Im Mittelpunkte einer trocknen und völlig reinen Queckſilberfläche bringe man, mit einem Stechheber, eine geringe Menge Waſſer ſo an, daß ſie eine Halbkugel von 3 bis 4 Linien Durchmeſſer bilde. Man führe in das Queckſilber den negativen Polardraht, den poſitiven hingegen in die Waſſermaſſe. Schließt man nun den Kreis, ſo plattet ſich im Momente der Schließung die Waſſerhemiſphäre ſo ab, daß ihr Durchmeſſer wenigſtens das Doppelte des vorigen beträgt (auf einer noch ſo vollkommen polirten ſtarren Metallfläche findet durchaus keine Applattung des Waſſers ſtatt). In dieſer Abplattung beharrt das Waſſer, ſo lange der Kreis geſchloſſen bleibt. Bringt man nun bei dieſem Verſuche den poſit. Polardraht anſtatt in das Innere der Waſſermaſſe bloß ſo eben in Berührung mit ihrem Scheitel, ſo wird die Totalität derſelben in ſenkrechter Richtung hinauf und hinab geſchleudert und ſpritzt mächtig an den Polardrähten herauf. Zugleich expandirt und contrahirt ſie ſich abwechſelnd eben ſo gewaltig in horizontaler Richtung. Die Schnelligkeit dieſes höchſt auffallenden Wellenſchlags (bei einer wirkſamen Säule) iſt ſo groß, daß ſelbſt ein

Digitized by Google

geübtes Auge nicht die jeder Secunde zukommende Zahl der Oscillationen auffassen kann. Hierbei geräth die ganze auch noch so große Fläche in gleichartige ringförmige Undulationen und diese mächtigen Bewegungen dauern ohne Unterbrechung so lange fort, als die Säule in Wirksamkeit bleibt.

Wird nach völliger Einsenkung des positiven Polardrahtes in das Quecksilber der negat. Draht aus demselben herausgezogen, so daß er nur noch mit der Flüssigkeit in unmittelbarer Berührung bleibt, so überzieht sich im Augenblicke das Quecksilber mit einer Oxydhaut, verliert seinen Glanz, wird steif und zähe, läßt sich hin und her ziehen und in beliebige Gestalt bringen, allmählig plattet es sich ab und breitet sich aus, welche Ausbreitung jedoch nicht der unmittelbaren Einwirkung des posit. Drahtes zuzuschreiben ist, indem dieser vielmehr zusammenziehende Wirkung auf das Quecksilber äußert, sondern der Oxydation. Der Grad dieser Oxydation ist abhängig von der Stärke der Säule, deren man sich bei dem Versuche bedient. Bei Anwendung einer Säule von 24 Paaren spielte die Oxydschicht mit den schönsten Regenbogenfarben, besonders mit einer schönen tombackbraunen und blauen Farbe. Das Quecksilber oxydirte sich nur auf den ersten Grad, aber schon bei Anwendung einer Säule von 50 Plattenpaaren war die Schicht gelb, es bildete sich statt des Oxyduls sogleich Oxyd. Noch auffallender geschah dieß durch eine Säule von 120 Paaren. Diese Oxydschicht bildete sich besonders schnell und stark an der Seite des Quecksilbers, die dem negat. Drahte am nächsten gegenüberstand; auch geschah bei Anwendung der stärkeren Säulen die Erstarrung und das Zähewerden des Quecksilbers fast in Einem Augenblicke.

Das Quecksilber behält seine Zähigkeit und bleibt von der Oxydschicht bedeckt ausgebreitet auch dann noch, wenn der posit. Draht aus ihm herausgezogen wird und beide Drähte nur bis in die Flüssigkeit tauchen. Wird aber nun wieder der negat. Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht, so verschwindet allmählig die Oxydhaut, zugleich zieht sich das Quecksilber zusammen, hat endlich seinen früheren Glanz und gewöhnliche Form angenommen und nun tritt wieder in Einem Augenblicke diejenige Erscheinung auf, welche als bei Einsenkung des negat. Polardrahtes stattfindend zuerst geschildert wurde. Die Reduction des nach Berührung mit dem posit. Polardrahte oxydirten und zähe gewordenen Quecksilbers kann auch, nachdem die Kette geöffnet worden, dadurch bewerkstelligt werden, daß man es mit einem reinen nicht elektrisirten Drahte berührt, und zwar geht die Reduction um so besser vor sich, je elektropositiver das Metall dieses Drahtes ist. Das Oxyd verschwindet schnell am Berührungspunkte, gleichsam als wenn es verschluckt würde, und das umliegende Quecksilber stürzt von allen Seiten nach dessen Stelle, wodurch auf der Oberfläche ein Strom gegen den Draht hin entsteht.

Es liegt in der Natur der Sache und ist auch oben schon bemerkt worden, daß, wenn man keinen der beiden Polardrähte der Säule in das Quecksilber, sondern beide nur in die dasselbe bedeckende Flüssigkeit senkt, das Quecksilber, wie ein jeder metallischer Zwischenleiter, selbst

Digitized by Google

Polarität annimmt. Hiernach ist dieser Fall ein zusammengesetzter des zweiten und ersten, wo das Quecksilber die unmittelbare Fortsetzung entweder des posit. oder des negat. Polardrahtes war. Am Quecksilber tritt demnach in diesem dritten Falle eine posit. und eine negat. Zone auf, die Ströme bald der einen bald der anderen, welche gleichzeitig auftreten, sind je nach Beschaffenheit der Umstände vorherrschend, so daß eine mannigfaltige Verschiedenheit der Erscheinungen bei dieser Art von Schließung auftritt. Die Beobachter stimmen deßhalb auch nicht über das Vorhandensein und die Art des Auftretens der Strömungen in diesem Falle überein, was aber fast immer bemerkt worden, ist eine Anziehung des Quecksilbers durch den posit. Pol, welche als ruckweise Bewegung der ganzen Masse des Quecksilbers auftritt. Nach Herschel findet indeß diese Anziehung nicht in glatten Glasgefäßen, sondern vorzüglich nur in Gefäßen von Wedgewood und auf mattem Glase statt, sie scheint abhängig zu sein von der Gegenwirkung des Gefäßbodens gegen die an der Oberfläche und im Innern des Quecksilbers stattfindenden Strömungen.

Hierher gehört auch folgender von Fechner (nach Erman) beschriebener Versuch. Gießt man in eine doppelt gebogene zweischenklige Röhre, die ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll im Lichten haben kann, Quecksilber, bis es in jedem senkrechten Schenkel eine Höhe von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll erreicht hat, bringt über jede dieser Quecksilbersäulen eine 2 bis 3 Zoll hohe Wassersäule, leitet in diese die Polardrähte einer kräftigen Säule und schließt nun den Kreis, so erzeugt sich an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negat. Drahte gegenübersteht, augenblicklich eine Oxydschicht und es findet in diesem Schenkel keine wahrnehmbare Bewegung statt. Im entgegengesetzten Schenkel aber, wo das Quecksilber dem posit. Polardrahte gegenübersteht, verändert es die Convexität seiner Fläche, es steigt gegen die Ränder, während das Wasser in den capillären Raum zwischen die Wände und das Quecksilber eindringt, wieder zurücktritt und so immer abwechselnd herab und herauf strömt. Das Einstreuen irgend eines leichten Pulvers in das Wasser macht dieses continuirliche Ebben und Fluthen in lothrechter Richtung noch anschaulicher. Es bildet sich nebenbei, dicht an den Wänden der Röhre, ein ringförmiger Wirbel, wo die beigemengten fremdartigen Theilchen mit großer Schnelligkeit durch den Impuls des steigenden und fallenden Wassers mit großer Heftigkeit bewegt werden, deren Flächen auf die Axe des Winkels senkrecht stehen. — Bemerkt zu werden verdient, daß, wenn die Wände der Röhre da, wo das Quecksilber sie berührt, noch ganz trocken sind, die wirbelnde Bewegung der schwimmenden Körper anfänglich sehr unbedeutend oder ganz und gar nicht vorhanden ist. Sie nimmt aber allmählig zu, je nachdem sich das Wasser einen freiern Zugang zwischen das Metall und das Glas verschafft hat. Ueberzieht man aber vollends diese Stelle mit einem Anstrich von Fett und bestreut sie mit Bärlappsaamen, so findet auch nicht die mindeste Strömung oder wirbelnde Bewegung statt.

Wenn man beide Polardrähte (von Platin) vertical über eine Schicht reinen Quecksilbers (von 2 bis 3 Zoll Durchmesser), die einige Linien hoch mit einer Flüssigkeit übergossen ist, in diese Flüssigkeit ein-

Digitized by Google

taucht, so daß die Spitzen der Drähte noch durch eine kleine Schicht der Flüssigkeit von der Oberfläche des Queckſilbers getrennt ſind, ſo finden nach Nobili folgende Erſcheinungen ſtatt.

Die Flüſſigkeit ſei eine Löſung von ſchwefelſaurem Natron. Man ſetze die Drähte mit den Polen einer Säule von mittelmäßiger Stärke in Verbindung, und ſogleich wird man im Umkreiſe der den Polſpitzen gegenüber liegenden Punkte der Queckſilberfläche (ſie mögen reſpectiv n und p heißen, je nachdem ſie dem negat. oder poſit. Draht gegenüberliegen) zwei Syſteme von Strömen ſich bilden ſehen. Betrachten wir das Queckſilber unter einem ſchiefen Winkel, ſo werden wir auf ſeiner Oberfläche Grenzen wahrnehmen, welche den äußeren Umriſſen der gewöhnlichen elektrochemiſchen Figuren entſprechen, die entſtehen würden, wenn dem Queckſilber eine feſte Metallplatte ſubſtituirt würde. Dieſe Grenzen beſtehen aus ovalen Linien oder Streifen n′ n″ n‴ und p′ p″ p‴ (Fig. 207.), innerhalb welcher das Queckſilber ein wenig niedriger ſteht als außerhalb. Dieſe Streifen ſind deutlicher an den innern einander zugekehrten Seiten p′ p″ und n′ n″, als an den äußern von einander abgewandten p‴ und n‴. In der Mitte oo nimmt man auf dem Queckſilber eine oder zwei Linien wahr, wo ſeine Oberfläche bewegt erſcheint, wie durch das Zuſammentreffen zweier entgegengeſetzter Ströme. Selten ſind die von dem Mittelpunkte p und n ausſtrahlenden Ströme von gleicher Kraft; im Allgemeinen ſind die vom Punkte p ausgehenden die wirkſamſten, oder wenn ſie das nicht gleich zu Anfange des Verſuches ſind, ſo werden ſie es doch bald. Faſt jederzeit bildet ſich in p etwas Oxyd, welches durch die Ströme nach Außen fortgeriſſen wird, nach dem Umkreis p′ p″ p‴ hin, wo es ſich mehr oder minder anhäuft. Das Oxyd, welches über p′ p″ hinausgetrieben wird, breitet ſich mehr oder minder raſch nach der Gegend des negat. Pols hin aus, wo daſſelbe abſorbirt und reducirt wird, ſobald die Ströme dieſes Theiles bis zu dem Grade an Kraft abnehmen, daß ſie der Ausbreitung kein Hinderniß mehr entgegenſtellen. Das Oval n′n″n‴ verhält ſich wie die entſprechenden von n ausſtrahlenden Ströme; es zieht ſich zuſammen mit denſelben und verſchwindet mit ihnen. Das Verſchwinden der negativen Ströme, welches gleichzeitig mit dem Verſchwinden des Ovals n′ n″ n‴ eintritt, rührt unmittelbar von der Oxydſchicht her, welche von den poſitiven Strömen über ihre gewöhnlichen Grenzen hinausgeſtoßen wird. Es genügt ſchon, der Ausbreitung dieſer Schicht ein Hinderniß entgegenzuſtellen (z. B. vermittelſt einer kleinen Glasſcheibe, die man bei oo in die Oberfläche des Queckſilbers eintaucht), um die Oxydation bei p zunehmen und die negativen Ströme ſich in voller Kraft behaupten zu ſehen. Die in dieſer Weiſe aufgerichtete Scheidewand verſchafft der Oxydlage in p′ p″ p‴ bald eine ſolche Feſtigkeit, daß die poſitiven Ströme vernichtet werden. Nimmt man aber die Glasſcheibe hinweg, bevor die Oxydation zu weit vorgeſchritten, ſo zerreißt die Oxydhaut in mehre Stücke und von Innen aus verbreiten ſich dieſe dann nach der negat. Seite hin, wo ſie abſorbirt und reducirt werden, wie oben angegeben. Dann beleben ſich die poſit. Ströme wieder und die negat. nehmen an Kraft ab.

Digitized by Google

Aehnliche Strahlungen wie die eben angeführten bei schwefelf. Natron finden auch in anderen Flüssigkeiten statt, in einigen jedoch treten sie nicht oder weniger bemerkbar auf. Als Grund dieser Verschiedenheit bei den verschiedenen Flüssigkeiten gibt Nobili an, daß in jeder Art von Flüssigkeit das Queckſilber die elektronegativen und elektropoſitiven Beſtandtheile der Flüſſigkeit um ſeine Pole, die es als Zwiſchenleiter angenommen, anhäuft. Zuweilen überziehen dieſe Elemente das Queckſilber mit einem mehr oder weniger feſten Häutchen, zuweilen bilden ſie keine das Queckſilber bedeckende Schicht.

Bisher war immer vorausgeſetzt, daß die Flüſſigkeit, welche das Queckſilber bedeckte, eine alkaliſche Lauge ſei; iſt hingegen die Flüſſigkeit eine Säure, ſo verhalten ſich nach Pfaff die Erſcheinungen in allen Punkten auf gerade entgegengeſetzte Weiſe. Am lebhafteſten traten die Erſcheinungen auf, wenn man ſich concentrirter Schwefelſäure als das Queckſilber bedeckende Flüſſigkeit bedient. Werden die Polardrähte nur in die Säure eingeſenkt, ohne mit dem Queckſilber ſelbſt in unmittelbarer Berührung zu ſtehen, ſo findet (wie bei den alkaliſchen Laugen durch den poſit., bei den Säuren) durch den negat. Pol Anziehung des Queckſilbers ſtatt. Dieſe Anziehung äußert ſich durch eine zuckende Bewegung des Queckſilbers und bei ſtärkeren Säulen durch Abplattung, Verlängerung und Verſchmälerung des Queckſilbers. Wie bei den alkaliſchen Laugen ein poſitiver, ſo tritt bei den Säuren ein negativer, d. h. ein von dem poſit. nach dem negat. Drahte in Strudeln oder Ellipſen gehender Strom ein. Bei gleicher Stärke der Säule erfolgt dieſer Strom mit bei weitem größerer Geſchwindigkeit und in größerer Ausdehnung als der poſitive Strom. Pfaff fand auch, daß bei gleicher Stärke der Säule der Strom lebhafter wurde, wenn die Maſſe des Queckſilbers zwiſchen beiden Polen vermehrt wurde. So lange die Säule noch einige Wirkſamkeit beſitzt, dauert dieſer Strom mit gleicher Richtung und Stärke fort, und ſchon ein ſehr ſchwacher elektr. Strom reicht hin, die Strömung des Queckſilbers zu bewirken. Berührt man das Queckſilber mit dem negat. Drahte, ſo plattet ſich daſſelbe nicht wie in den alkaliſchen Laugen ab, ſondern zieht ſich vielmehr bedeutend zuſammen, indem ſeine Krümmung und Höhe zunimmt, während die Breite ſich vermindert; zugleich hört der Strom auf und Luftblaſen bedecken die ganze Oberfläche des Queckſilbers. Wird hingegen, nachdem vorher beide Drähte nur in die Säure geſenkt waren, nicht mit dem negat., ſondern mit dem poſit. Drahte das Queckſilber berührt, ſo erfolgt alsbald Abplattung und Ausbreitung des Queckſilbers, ohne daß ſich dieſes jedoch mit einer eigentlichen Oxydſchicht überzieht; dabei geht der oben beſchriebene lebhafte Strom in einen geraden bei weitem langſameren über. Sind beide Drähte in das Queckſilber eingeſenkt, ſo nimmt daſſelbe ſeine natürliche Krümmung an und es treten keine Strömungen ein.

Intereſſante Bewegungen des Queckſilbers finden auch ſtatt, wenn daſſelbe ſelbſt unter Zwiſchenwirkung einer Flüſſigkeit mit einem anderen elektropoſitiven Metalle zu einer einfachen Kette verbunden wird. So machte z. B. Nobili folgende Beobachtung. Wenn man einen Tropfen

Digitized by Google

Queckſilber unter Schwefelſäure bringt und ihn mit der Spitze eines Eiſendrahtes berührt, ſo zieht ſich der Tropfen etwas zuſammen. Zieht man nun die Spitze des Eiſendrahtes ein wenig von dem Queckſilber wieder zurück, ſo dehnt ſich daſſelbe wieder aus, um in ſeine natürliche Form zurückzugehen. Hierbei kommt es wieder mit dem Drahte in Berührung, zieht ſich wieder zuſammen, und ſo erfolgt abwechſelnd Zuſammenziehung und Ausdehnung, ſo lange die galvaniſche Thätigkeit der drei Elemente, Queckſilber, Eiſen und Säure, dauert.

Auch folgende von Runge gemachte Beobachtungen verdienen bemerkt zu werden. Uebergießt man reines Queckſilber mit einer geſättigten Kochſalzlöſung, etwa eine halbe Linie hoch, und bringt ein wenig Kupfervitriol, gleichviel ob einen kleinen Kryſtall oder ein Bruchſtück eines größeren, mit der Vorſicht in die Salzlöſung, daß er auf ihr ſchwimmend bleibt, ſo verliert das Queckſilber nach einiger Zeit ſeinen Glanz und überzieht ſich allmählig mit einer Haut, die muthmaßlich aus Chlorkupfer im Minimum und Chlorqueckſilber im Minimum beſteht. Weiteres findet im Weſentlichen nicht ſtatt. Berührt man nun aber das Queckſilber durch die Flüſſigkeit mit einem Stück blanken Eiſens, ſo ändert ſich die Scene. Die Haut, die das Queckſilber bedeckt, ſpaltet ſich und wird ſchnell vom Queckſilber abſorbirt. Es ſtellen ſich wirbelförmige Strömungen ein, die vom ſchwimmenden Kryſtall ausgehen, ſich an der Queckſilberfläche brechen und wieder nach Außen hin, ſich umbeugend, in die Höhe ſteigen. Dabei nimmt der Kryſtall an Größe ab und verſchwindet endlich ganz. Mit ſeinem Verſchwinden hört auch die Strömung auf. Dieſelben Erſcheinungen, verbunden mit einer Anziehung zwiſchen dem Kryſtall und Queckſilber, finden auch ſtatt, wenn erſterer unter der Flüſſigkeit ungefähr eine halbe Linie vom Queckſilber entfernt liegt. Hier wie dort dauern die Erſcheinungen nur ſo lange, als Eiſen in das Queckſilber eingetaucht iſt. Bringt man den Kupfervitriol, ſtatt ihn auf der Flüſſigkeit ſchwimmen zu laſſen, in unmittelbare Berührung mit dem Queckſilber, ſo iſt der Vorgang anders. So wie man nämlich das Eiſen in das Queckſilber taucht, geräth der Kryſtall in eine heftige Bewegung und kreiſt, während er ſcheinbar vom Eiſen angezogen und abgeſtoßen wird, auf die wunderbarſte und regelloſeſte Weiſe auf und an der Queckſilberoberfläche umher. Dabei nimmt der Kryſtall an Größe ab und ſeine Bewegungen, die ſich beſſer beobachten als beſchreiben laſſen, nehmen an Geſchwindigkeit zu. Zieht man das Eiſen aus dem Queckſilber, ſo hören die Bewegungen des Kryſtalls augenblicklich auf, es ſei denn, daß man das Queckſilber ſchon oft und anhaltend zu dieſem Verſuche angewendet hat, in welchem Falle die Erſcheinung, auch ohne Eiſen, bei bloßer Gegenwart von Queckſilber und Kochſalzlöſung von Statten geht. Größere Kryſtalle gerathen übrigens nicht in jene wirbelnde Bewegung, ſondern nähern ſich ruckweiſe dem Eiſen, bis ſie dieſes erreicht haben. Das Queckſilber wird ſchon an und für ſich in eine zuckende Bewegung verſetzt, wenn man es unter Salzlöſungen mit Eiſen berührt; auch finden dabei an den Salzlöſungen Strömungen ſtatt, wie man dieß durch ein wenig hineingeſchüttete Pfeifenerde ſichtbar machen kann. Dieſe Er-

Digitized by Google

scheinungen haben aber mit denen beim Kupfervitriol nichts gemein und können auch nicht mit ihnen verwechselt werden. Die Bewegungen des Kupfervitriols sind zugleich mit einer beschleunigten Auflösung desselben verbunden. Von zweien Krystallen, von denen der eine achtmal größer war als der andere und der erstere auf dem Queckſilber, der andere aber neben demſelben lag, wurde jener, nämlich der größere, während der Berührung des Queckſilbers mit dem Eiſen, zweimal ſchneller aufgelöſt als der kleinere. Gleich dem Eiſen ſetzen Kupfer, Blei, Wismuth, Zink den Kupfervitriol in Bewegung, wenn man mit ihnen das unter der Kochſalzauflöſung befindliche Queckſilber berührt. Antimon, Gold, Silber, Platin bringen dagegen keine Veränderung hervor. Eine Auflöſung des Kochſalzes ſcheint bei Berührung des Queckſilbers mit Eiſen die ſtärkſten Bewegungen des Kupfervitriolkryſtalles zu veranlaſſen, und zwar um ſo ſtärkere, je concentrirter ſie iſt. Löſungen von Salmiak, ſalzſ. Kali, ſalzſ. Thonerde u. ſ. w. wirken ſchwach, mehre andere Salzauflöſungen gar nicht.

An die Erſcheinungen elektrochemiſcher Bewegungen der Flüſſigkeiten ſchließen ſich endlich noch die von **Kemp** beobachteten merkwürdigen Erſcheinungen. Nachdem **Kemp** eine gewiſſe Menge Zink (ungefähr den 30 bis 50ſten Theil) in Queckſilber aufgelöſt hatte, ſchüttete er einen Theil deſſelben in ein ſchlankes Glasgefäß und füllte den übrigen Raum mit ziemlich ſtarker wäßriger Salzſaure, dann ſtellte er blanke Metalldrähte in das Gefäß ſenkrecht ſo auf, daß ſie mit ihrem unteren Ende in das Amalgam eintauchten. In demſelben Momente, wo die Drähte das Amalgam berührten, entwickelte ſich Waſſerſtoffgas in reichlicher Menge an denſelben, und das Queckſilber fing gleichzeitig an, an den Drähten emporzuſteigen und hörte damit nicht eher auf, als bis es die Höhe erlangt hatte, bis zu welcher die Flüſſigkeit in dem Glasgefäße ſtand; war die Höhe erreicht, ſo fand kein weiteres Steigen des Queckſilbers ſtatt. In welcher Form aber auch der Draht gebogen werden mag, jederzeit folgt das Queckſilber demſelben ſo weit, als es ſich **unter** der Oberfläche der Miſchung von Salzſäure und Waſſer befindet. Hierbei überzieht das Queckſilber die Drähte keineswegs bloß oberflächlich, ſondern es dringt bis zum Mittelpunkte derſelben ein, wenn ihm Zeit genug dazu gelaſſen wird, und durchdringt überhaupt jedes Theilchen des Drahtes, wie denn auch innerhalb der verdünnten Salzſäure keine Grenze ſtattzufinden ſcheint, bis zu welcher Höhe das Aufſteigen des Queckſilbers ſich fortſetzt. Wird eine gewiſſe Menge fettes oder ätheriſches Oel auf die ſaure Flüſſigkeit geſchüttet, ſo ſetzt ſich die Verbindung des Queckſilbers mit dem Drahte nicht durch jene Flüſſigkeit fort, ſondern überſteigt nie das Niveau der Säure. Bei dieſem Acte wird das im Queckſilber befindliche Zink oxydirt und löſt ſich in der ſauren Flüſſigkeit auf, und läßt man ihm hinlängliche Zeit, ſo wird man es von ſchönem kryſtalliniſchen Anſehen auf der Oberfläche des Drahtes abgeſetzt finden. Wenn die Thätigkeit ihr Ende erreicht hat, ſo wird das übrige Queckſilber in urſprünglich reinem Zuſtande zurückbleiben. Platin-, Gold-, Silber-, Kupfer-, Meſſing-, Zinn-, Eiſen-, Zink- und Stahldrähte wurden dieſem Proceß

Digitized by Google

unterworfen und bei allen stieg das Queckſilber empor, aber in verſchiedenen Graden der Geſchwindigkeit. Als ein Platin-, ein Kupfer-, ein Eiſen- und ein Zinkdraht, jeder vier Zoll lang, in das Amalgam geſtellt wurden, ſtieg das Queckſilber innerhalb eines Zeitraums von 8 Minuten bis zur Spitze des Zinkdrahtes, innerhalb 14 Minuten bis zur Spitze des Kupferdrahtes und beim Platin- und Eiſendrahte brauchte es ungefähr eine Minute länger Zeit. Es iſt dieſes Aufſteigen indeß keineswegs immer gleichförmig, am Zink aber ſteigt es jederzeit am raſcheſten empor. Wendet man eine concentrirte Miſchung von Salzſäure mit Waſſer an, oder ſteigert man die Temperatur des Ganzen, ſo ſteigt das Queckſilber raſcher an den Drähten empor, und offenbar ſteht es in genauem Verhältniſſe mit der chemiſchen Thätigkeit auf der Oberfläche der Metalldrähte.

Wir haben zu leichterer Verſtändigung früher angenommen, daß die Flüſſigkeiten durch ihre Berührung mit feſten Körpern, ſo wie denn auch, was damit zuſammenzuhängen ſcheint, durch ihre Berührung unter einander keine Elektricität erregen. Obwohl nun dieſes auch in der That richtig zu ſein ſcheint, ſo lange von Ketten die Rede iſt, welche aus zwei Metallen (oder überhaupt zwei feſten Körpern) und Einer Flüſſigkeit beſtehen, ſo iſt es doch nicht unbeſchränkt richtig, denn die Verſuche und Beobachtungen haben gelehrt, daß man auch wirkſame Ketten aus zwei heterogenen Flüſſigkeiten und Einem feſten Körper herſtellen könne. Man ſpricht daher I. von trockenen Erregern oder Erregern der erſten Klaſſe und rechnet dazu: 1) alle Metalle in ihrem reinen metalliſchen Zuſtande, ſowohl die Metalle im engeren Sinne, oder die ſchweren Metalle, als auch die leichten Alkali- und Erdmetalle; 2) alle Metallegirungen; 3) alle Erze, welche noch in einem merklichen Grade Leiter der Elektr. ſind, alſo die meiſten Verbindungen der Metalle mit Schwefel und Selen; 4) viele Verbindungen der Metalle mit Sauerſtoff, die gleichfalls Leiter der Elektr. ſind; 5) die Kohle und mehre kohlenhaltige Körper, in welche die Kohle mit ihren charakteriſtiſchen phyſiſchen Eigenſchaften mehr eingemengt als chemiſch damit verbunden iſt, ſo wie die Verbindungen der Metalle mit Kohle. Dieſen ſetzt man nun entgegen II. feuchte Erreger oder Erreger der zweiten Klaſſe und rechnet dazu alle oxydirten Körper, ſofern ſie zugleich waſſerhaltig oder feucht ſind, ferner alle feſte und feſtweiche Theile der organiſchen, animaliſchen und vegetabiliſchen Körper, ſo wie die Säfte derſelben.

Zur Herſtellung von Ketten aus zwei oder mehren flüſſigen und Einem feſten Leiter kann man ſich verſchiedener Verfahrungsarten bedienen. Entweder man benetzt Tuch- oder Pappſcheiben mit den heterogenen Flüſſigkeiten und ſchichtet dann dieſelben mit Metallplatten von gleichartigem Metalle ſo, daß ſtets die entgegengeſetzten Flüſſigkeiten mit einander in Berührung kommen; ſo kann man z. B. eine Tuchſcheibe mit Kali, eine andere mit Schwefelſäure benetzen, jede Scheibe auf ein Platinblech bringen und beide Platinbleche können mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung ſtehen; ſo wie man dann die Platinbleche mit ihren Belegen an einander drückt, entſteht

Digitized by Google

ein elektrischer Strom, und zwar nimmt derselbe durch die Elemente des Apparates folgende Richtung: Kali, Säure, Platin, Multiplicator, Platin, Kali. Oder man kann auch eine Glasröhre an ihrem einen Ende mit einer thierischen Blase überbinden, in ein Gefäß eine Flüssigkeit gießen und in die Röhre eine andere heterogene Flüssigkeit, hierauf die Röhre mit dem zugebundenen Ende in das Gefäß tauchen. Durch die Blase hindurch verbinden sich sehr allmählig beide Flüssigkeiten und indem das eine Ende des Multiplicatordrahtes in die eine, das andere Ende in die andere Flüssigkeit getaucht wird, wird die Kette geschlossen und es zeigt sich am Multiplicator die Gegenwart und die Richtung des elektrischen Stromes. Man kann endlich auch jede der beiden heterogenen Flüssigkeiten in ein anderes Gefäß gießen und dieselben unter einander durch einige Asbest- oder Baumwollenfaden in Verbindung setzen. Statt des Fadens kann man auch eine Heberröhre nehmen, welche mit einer der beiden Flüssigkeiten oder mit Wasser gefüllt ist. Die Platinenden des Multiplicators werden in die heterogenen Flüssigkeiten, jedes in eine gesenkt.

Welcher von diesen Vorrichtungen man sich indeß auch bedienen mag, immer kommt nicht bloß eine Flüssigkeit mit der anderen, sondern auch jede Flüssigkeit mit Metall in Berührung. Dieser Umstand würde jedoch das Resultat der Beobachtung nicht modificiren, der in jedem Falle beobachtete elektrische Strom würde allein ein Resultat der in Berührung gesetzten heterogenen Flüssigkeiten sein, wenn durch die Berührung von Flüssigkeiten mit Metallen keine Elektr. erregt würde. Dieses Letztere muß aber erst durch Versuche erwiesen sein. Den hierüber anzustellenden Versuchen stellen sich jedoch bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Nicht allein verändern diese Körper schon in der wechselseitigen Berührung mit einander durch einen zwischen ihnen eintretenden chemischen Proceß ihre natürliche Beschaffenheit, wonach denn auch das Resultat des Versuches ein anderes als das gewünschte sein muß, sondern es ist auch schwierig, die Flüssigkeiten von den Metallen, nachdem sie in Berührung gekommen, so wieder abzutrennen, daß nicht eine Schicht Flüssigkeit an den Metallen haften bleibt, welches wenigstens dann zu vermeiden ist, wenn man zu Prüfung der durch die Berührung erregten Elektricitäten des Elektrometers sich bedienen will. Schon Volta hat Versuche über das elektromotorische Verhalten der Flüssigkeiten gegen die Metalle angestellt. Um die Versuche auf ähnliche Weise anstellen zu können, wie über das elektromotorische Verhältniß der Metalle gegen einander mittelst des Condensators und des Elektroskopes tränkte Volta Scheiben von Holz, Leder oder Pappe mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und trocknete dann dieselben durch Wärme oder mittelst Löschpapiers so weit ab, bis sie bei der Berührung mit Löschpapier keine Feuchtigkeit mehr auf demselben zurückließen. Die Resultate, welche Volta fand, sind folgende, jedoch durch die späteren Erfahrungen nicht bestätigte.

1) Daß alle feuchten Leiter ohne Ausnahme mit allen Metallen positiv, diese mit ihnen negativ elektrisch werden.

Digitized by Google

2) Daß reines Wasser mit den Metallen stärker positiv wird, als salzige Flüssigkeiten mit denselben.

3) Daß alkalische Laugen und selbst die Kalkmilch und das Kalkwasser beide (salzige Flüssigkeiten und reines Wasser) bei weitem übertreffen, indem sie mit Zinn viel stärker positiv werden.

4) Daß das Zink, das noch mit allen Metallen pos. elektr. wird, mit allen Leitern der zweiten Klasse stärker negativ wird als alle übrigen Metalle.

5) Daß mit Ausnahme von No. 3 der elektrische Erzeugungsproceß zwischen den Metallen und den Flüssigkeiten im Ganzen nur schwach ist, nur etwa wie derjenige, welcher zwischen zwei in der galv. Spannungsreihe sehr nahe an einander stehenden Metallen (wie Zinn und Blei) stattfindet.

Nach Versuchen von Pohl zerfallen alle Metalle in zwei Klassen, von denen alle Metalle der einen Klasse, wozu außer Silber, Gold und Platin auch Queckſilber und Kupfer gehören, gegen das Wasser, die Säuren, so wie gegen die Alkalien und alle anderen Lösungen sämmtlich posit. elektrisch werden, und zwar um so mehr positiv, je negativer sie in der Spannungsreihe der Metalle sind, während die Glieder der andern Klasse, Eisen, Zinn, Blei, Zink, mit denselben Flüssigkeiten negativ, und zwar um so mehr negat. elektrisch werden, je positiver sie in der Spannungsreihe der Metalle sind. Doch auch dieses Resultat der Beobachtung hat sich wenigstens nicht in seiner Allgemeinheit bestätigt gefunden, wie sorgfältig von Pfaff angestellte Versuche gezeigt haben.

Bei der Uebersetzung einer Abhandlung von Davy (über einige Wirkungen der Elektr.) machte Pfaff eine Reihe von Versuchen über das Verhalten der feuchten Leiter gegen die Metalle bekannt. Doch kam bei diesen Versuchen nicht eine Flüssigkeit allein mit einem Metalle in Berührung, sondern die angewendete Flüssigkeit kam auch stets mit destillirtem Wasser in Berührung. Es wurde nämlich von Pfaff mit Hülfe des Condensators die elektr. Spannung einer einfachen Combination, und wie diese zu schwach war, einer aus mehren gleichartigen Combinationen aufgebauten Säule untersucht, wobei außer dem Metalle und deren Rücksicht auf ihre elektr. Erregung mit diesem zu untersuchenden Flüssigkeit noch eine mit dest. Wasser befeuchtete Pappe zu Hülfe genommen wurde, so daß sich folgten: Metall, zu untersuchende Flüssigkeit, Wasser. Das eine Ende wurde dann, um das Maximum von Spannung zu erhalten, jedesmal ableitend berührt, und die mit Wasser getränkte Pappe mit der Collectorplatte des Condensators in unmittelbare Berührung gesetzt. Pfaff setzte dabei voraus, daß bei jenen sehr verschiedenen Flüssigkeiten, wie Säuren, Alkalien, Schwefellebern u. dergl., das Resultat durch die überwiegende elektr. Erregung zwischen dem Metalle und einer solchen Flüssigkeit bestimmt werde, wo dann von der Berührungsfläche zwischen dem Metalle und irgend einer solchen Flüssigkeit in der einzelnen Combination ausgegangen in der Säule der Pol, welcher an demjenigen Ende sich befand, wohin das Metall gerichtet war, als die eigenthümliche Erregung dieses Metalles

Digitized by Google

und der an dem entgegengesetzten Ende, wohin die Flüssigkeit gekehrt war, auftretende Pol als die elektr. Erregung der Flüssigkeit anzeigend betrachtet wurde. Pfaff erhielt nun folgende Resultate.

A. 1) Mit der ätzenden Kali- und Natronlauge werden alle Metalle positiv, während diese negativ sind.

2) Die negat. Elektr. der Metalle ist in der Regel um so stärker, je näher dieselbe nach dem posit. Ende der Spannungsreihe stehen, doch ist die Erregung des Zinns noch stärker als die des Zinks, und die des Eisens schwächer als die der übrigen Metalle.

3) Die pos. elektr. Erregung jener fixen Laugensalze mit allen Metallen findet bei jedem Grade der Verdünnung statt, doch ist sie um so stärker, je concentrirter die Lauge ist.

4) Diese elektr. Spannung, besonders die stärkere in letzterem Falle, sinkt in kurzer Zeit und geht bei einigen Metallen durch 0 in die entgegengesetzte über. Besonders zeigt das Eisen diese Umwandlung der Polarität, und die zweite positive für das Eisen, negative für das Laugensalz, ist sogar dem Grade nach stärker als die ursprüngliche entgegengesetzte. Auch eine Säule aus Zink, Aetzkali, Wasser, kehrt nach einigen Stunden ihre Polarität um.

B. 5) Eben so wie die reinen fixen Alkalien verhalten sich das Ammoniak und die Kalkmilch, mit den bekannteren Metallen, nur mit Ausnahme des Spießglanzmetalls für das erstere und des Eisens für das letztere, die mit ihnen vielmehr positiv werden.

C. 6) Mit Auflösung der Schwefelleber werden alle Metalle negativ, jene positiv, sie scheint gleichsam die Metallreihe auf der positiven Seite über das Zink hinaus fortzusetzen und sich dem Gesetze derselben gemäß zu verhalten, da sie mit dem ihr am nächsten stehenden Zinke am schwächsten und dem von ihr entferntesten Graubraunsteinerz am stärksten positiv wird.

D. 7) Mit dem mit Wasser zu Pulver gelöschten Kalke werden Eisen, Zink und Silber positiv, die übrigen Metalle, namentlich Wismuth, Blei, Spießglanz, Zinn, Kupfer negativ.

E. 8) Mit dem kohlens. Kali wird das Eisen gleich im Anfange positiv und die erst negativen Zink und Zinn nach weniger Zeit gleichfalls positiv.

9) Mit dem kohlens. Ammoniak werden alle Metalle, mit Ausnahme des pos. werdenden Eisens, negativ.

F. 10) Mit der concentrirten Schwefelsäure und mit der concentrirten Salpetersäure werden alle Metalle positiv.

11) Mit der verdünnten Schwefelsäure und mit der gewöhnlichen concentrirten Salzsäure werden die meisten Metalle negativ, nur mit der ersteren das Kupfer und Blei, mit der letzteren das Spießglanz und Eisen positiv.

12) Mit der verdünnten Salpetersäure gerade so wie mit der concentrirten werden alle Metalle positiv.

13) Mit dem liquiden Chlor werden Zink, Zinn, Gold und Kupfer (mehre waren nicht untersucht worden) negativ.

G. 14) Mit den Neutral- und Mittelsalzen, in welche Schwefel-

Digitized by Google

säure oder Salzsäure eingehen, werden Zink sowohl als Kupfer negativ, und diese Salze positiv, insbesondere gilt dieses für schwefels. Natron, schwefels. Ammoniak, schwefels. Talkerde, Alaun, schwefels. Thonerde, Kochsalz, Salmiak, salzs. Talkerde, salzs. Thonerde und auch für den Borax.

15) Mit den Salzen hingegen, deren saurer Bestandtheil die Salpetersäure ist, namentlich mit dem gemeinen Salpeter, dem salpeters. Baryt, dem salpeters. Kalke, der salpeters. Talkerde, verhalten sich Zink sowohl als Kupfer positiv.

Mit größter Sorgfalt und Ausführlichkeit hat Pfaff später neue Versuche angestellt, bei denen möglichst direct die Elektricitätserregung, welche bei der Berührung der Flüssigkeiten mit Metallen stattfindet, beobachtet wurde. Auch hat derselbe die Versuche anderer Physiker sorgfältig wiederholt. Das von Pfaff angewendete Verfahren war im Allgemeinen folgendes. Er bediente sich Condensatoren, deren jeder aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte bestand. Wollte er nun die elektr. Erregung irgend einer Flüssigkeit z. B. mit dem Kupfer untersuchen, so legte er eine mit derselben getränkte Pappscheibe auf die obere Kupferplatte des einen Condensators a, berührte die feuchte Pappe mit dem Finger, während zugleich die untere Zinkplatte desselben Condensators ableitend berührt wurde, hob die obere Kupferplatte dann auf, brachte sie an die auf das Goldblattelektrometer aufgeschraubte Kupferplatte des anderen Condensators b, indem er zugleich die obere Zinkscheibe desselben ableitend berührte, setzte dann die Kupferscheibe von a wieder auf ihre Zinkplatte zurück und wiederholte Alles, wie das erstemal. — Ganz gleiche Resultate erhielt Pfaff auch, wenn er die mit der Flüssigkeit getränkte Pappe zwischen die Finger nahm, die Kupferplatte des Condensators a damit berührte, dann die Gemeinschaft wieder aufhob und übrigens auf gleiche Weise verfuhr. Das Verfahren wurde dann auch so abgeändert, daß er auf eine mit der Flüssigkeit getränkte Pappe eine Kupferscheibe legte und diese mit der Flüssigkeit in Berührung brachte, während die befeuchtete Pappe ableitend berührt wurde, und es machte hierbei in der Größe der Spannung keinen Unterschied, ob die Pappscheibe und Kupferplatte nur eine Linie oder viele Zolle im Durchmesser hatte. Pfaff fand nun, daß, wenn Kupfer und Zink mit folgenden, in Pappscheiben enthaltenen Flüssigkeiten berührt wurden, sie respectiv, das Kupfer positiv, das Zink negativ, mit folgenden Flüssigkeiten wurden, wobei die Flüssigkeiten in der Ordnung der Stärke ihrer elektr. Erregung mit den Metallen auf einander folgen.

Kupfer positiv bei Berührung mit:	Zink negativ bei Berührung mit:
Schwefelsäure, mit 4 bis 8 Wasser verdünnt.	Schwefelsäure, eben so verdünnt.
Chlorkalk.	Verdünnte Salpetersäure.
Salmiak.	Liquides Chlor.
Verdünnte Salpetersäure.	Chlorkalk.
Wasser.	Salmiak.
	Salpeter.
	Wasser.

Digitized by Google

Die stärkste posit. Spannung, welche die verdünnte Schwefelsäure mit dem Kupfer hervorbringt, ist indeß nicht stärker, als die positive Spannung, welche das Zinn in Berührung mit dem Kupfer annimmt. Stärker ist dagegen die negative Erregung des Zinks durch die nämlichen Flüssigkeiten, und namentlich ist die mit der verdünnten Schwefelsäure eben so stark, als die negat. Erregung des Kupfers mit dem Zink. Eben so wie das Kupfer wurden auch Gold, Silber, Antimon mit den angezeigten Flüssigkeiten positiv, und ein übereinstimmendes Verhalten mit dem Zinke zeigten dagegen Blei, Zinn, Kadmium, Eisen, welche damit negat. wurden. Es kann den Anschein haben, als bestätigten die von Pfaff gefundenen Resultate die Annahme Pohl's, daß es zwei Classen von Metallen gebe, von denen in Berührung mit Flüssigkeiten die einen positiv, die anderen negativ elektr. würden. Pfaff hat jedoch im Gegensatz mit diesem Gesetze gefunden, daß alle von ihm untersuchten Metalle, namentlich auch Kupfer und Silber mit alkalischen Laugen und Schwefelleberlösungen eben sowohl negat. als Zinn und Zink werden, die mit diesen Flüssigkeiten getränkten Pappen mochten nun noch naß oder gut abgetrocknet sein. Was die Stärke der negat. Ladung betraf, so zeigte sie sich bei Anwendung der Schwefelleber stärker bei den mehr negat. Metallen, dem Silber und Kupfer, als bei den mehr posit.; dagegen war die elektr. Erregung zwischen den alkalischen Laugen und den posit. Metallen, Zinn und Zink stärker, als zwischen ersteren und den mehr negativen Metallen, dem Silber und Kupfer. Weniger entscheidend als mit den fixen ätzenden Alkalien fielen die Versuche mit dem Ammoniak aus.

Die Resultate aller dieser Versuche in Bezug auf Flüssigkeiten sind indeß keineswegs mit denen auf gleiche Linie zu stellen, welche man über das Verhalten trockener Erreger gegen einander erhalten hat. „Die Hauptschwierigkeit bei diesen Versuchen liegt, wie Pfaff sagt, darin, daß wir eigentlich kein einziges reines Resultat über das Verhalten einer einzelnen Flüssigkeit mit einem trockenen Erreger erhalten haben, indem die ableitende Berührung mit dem Finger immer die elektromotorische Wirkung des letzteren mit der in Rücksicht auf ihr Verhalten zu prüfenden Flüssigkeit mit ins Spiel brachte. Dann ist auch nicht zu leugnen, daß die Versuche mit dem Condensator nicht so ganz constante Resultate geben, und daß hier elektr. Erregungen von zufälligen Umständen sich einmischen und die Erfolge abändern, ohne daß sich diese Umstände immer genau bestimmen lassen.“

Kehren wir nun zu denjenigen Versuchen zurück, die mit Apparaten, wie sie S. 604 f. beschrieben wurden, angestellt worden sind, um den elektromotorischen Einfluß der Flüssigkeiten auf einander zu untersuchen, so ist klar, daß die Mangelhaftigkeit unseres Wissens über den elektromotorischen Einfluß der Flüssigkeiten auf die Metalle auf jene Versuche übergehen müsse, weil bei demselben Flüssigkeiten nicht bloß mit Flüssigkeiten, sondern auch mit Metallen in Berührung kommen.

Es war oben die Richtung eines Stromes angegeben worden, wenn man Platin, Kali, Schwefelsäure, Platin schichtet und beide Platinscheiben durch den Multiplicatordraht in Verbindung stehen. Statt

Digitized by Google

des Kali kann man nun ein beliebiges Alkali oder auch Kalkwasser und ſtatt der Schwefelſäure eine beliebige Säure *) an die Stelle ſetzen, auch ſtatt des Alkali der Säure Waſſer, oder Waſſer ſtatt der Säure dem Alkali entgegenſetzen, der Strom nimmt immer die angegebene Richtung.

Fechner hat nach ſeinen eigenen und Walcker's Verſuchen folgende Tabelle zuſammengeſtellt, um eine Ueberſicht von Fällen zu erhalten, in denen deutliche Strömung erfolgt.

Es verhält ſich bei Schichtung mit Platin wie

Alkali	gegen	Säuren (Waſſer, Chlor, Metallſalzlöſungen).
Waſſer	—	Mineralſäuren, Chlorauflöſung.
Schwefelleberlöſung	—	Waſſer, Alkalilöſungen, Säuren, Chlor, Metallſalzlöſungen.
Eiſenblauſ. Kali	—	Metallauflöſungen.
Verdünnte Säure	—	concentrirte.
Concentrirtes Alkali	—	verdünntes.

Hierzu kommen noch folgende Angaben von Walcker:

Wie Alkali	gegen Säure.
Concentrirte Salzſäure, Kochſalz, Eſſigſ. Baryt, Eſſigſ. Blei	Concentrirte Schwefelſäure.
Schwefelſ. Kupfer, Schwefelſ. Zink	Verdünnte Schwefelſäure.
Concent. Schwefelſäure, Schwefelſ. Kupfer, Salpeterſ. Kupfer	Concent. Salpeterſäure.
Eiſenblauſ. Kali	Salzſaures Kali.
Ammoniak, Kohlenſ. Natron	Salzſaurer Baryt.
Schwefelſ. Kupfer	Salzſaurer Kalk.
Salzſ. Natron	Salzſaures Zink.
Concentrirte Schwefelſäure, Verdünnte Schwefelſ. (⅓ conc. haltend), Alkalilaugen, Eiſenblauſ. Kali, Schwefelammoniak, Galläpfeltinktur	Salzſaures Eiſenoxyd.
Conc. Schwefelſäure	Aetzſublimat.
Salzſaures Kali, Salzſ. Natron, Salzſ. Zink, Salzſ. Eiſenperoxyd, Salzſäure	Salzſ. Goldperoxyd.

*) Fechner bemerkt indeß, daß wahrſcheinlich die Schwefelwaſſerſtoffſäure und andere ſtark desoxydirende Säuren auszunehmen ſind.

Digitized by Google

Salzs. Kali Salzs. Natron Salzs. Ammoniak	Salzs. Platinperoxyd.
Ammoniak Schwefels. Kali	Schwefels. Thonerde (conc.).
Ammoniak Bas. kohlens. Natron Bicarbonat von Natron	Kupfervitriol.
Salpeters. Kali	Salpeters. Kupfer.
Salzsäure Essigsäure Salzs. Natron Salpeters. Kali Essigs. Kali	Salpeters. Silber.
Conc. Kochsalzlösung	verdünnte Kochsalzlösung.

Keine elektr. Strömung konnte Walcker bemerken bei Combination der Lösungen von

Salzs. Baryt	mit	Conc. Schwefelsäure. Verdünnter Schwefelsäure. Salzs. Kali. Schwefels. Kali. Schwefels. Natron. Kohlens. Natron. Phosphors. Ammoniak. Eisenblaus. Kali.

Essigsaurem Baryt mit Schwefels. Kali.
Salzs. Kali — Kohlens. Natron.
Aetzsublimat — Blausäure.

Der Zweifel, welcher gegen die Elektricitätserregung bei Berührung der Flüssigkeiten unter einander aus dem Umstande entspringt, daß bei allen bisherigen Versuchen nicht bloß Flüssigkeiten mit Flüssigkeiten, sondern auch Flüssigkeiten mit festen Körpern in Berührung kommen, scheint durch neuere Versuche Becquerel's gehoben zu sein. Derselbe wendete nämlich Kettenordnungen an, bei denen die Enden des Multiplicators mit gleichartigen Metallen (Platinschaalen) in Verbindung standen, diese gleichartigen Metalle auch mit gleichartigen Flüssigkeiten (entweder Salpetersäure oder Phosphorsäure) communicirten und nun zwischen diesen gleichartigen Flüssigkeiten erst die heterogenen Flüssigkeiten eingeschaltet wurden, deren Wirkung auf einander geprüft werden sollte. Hier konnte der elektr. Effect, welcher wirklich eintrat, nicht von einer Berührung der Metalle mit ungleichartigen Flüssigkeiten abhängen, da ein solcher heterogener Contact nicht stattfand; er mußte mithin auf Rechnung der Berührung oder auch chemischen Wirkung der Flüssigkeiten auf einander kommen. Die Anordnung und der Erfolg von Becquerel's Versuchen in diesem Bezug wird durch folgende Tabelle ausgedrückt. Die Richtung des Pfeils zeigt die Richtung der (positiven) Strömung in den Substanzen an, die auf die unten folgende

Digitized by Google

Art angeordnet waren. Das Platin zu beiden Enden wird durch zwei Schalen vorgestellt, die mit der Flüssigkeit (1) und (4) gefüllt, und einerseits mittelst des Multiplicators, andererseits durch einen mit Wasser genetzten, 1 Decimeter langen Baumwollendocht verbunden wurden. Um die Mitte des Dochtes nun wurde von jeder der Flüssigkeiten (2) und (3) ein Tropfen (der eine zur einen, der andere zur anderen Seite) angebracht, die dann ihre Wirkung auf einander äußerten. Andremale wurde auch statt dieser Anordnung folgende ihr äquivalente gewählt. Die beiden Platinschalen standen mit zwei Porzellanschalen in Verbindung, worin sich die gegen einander zu prüfenden Flüssigkeiten befanden. Diese Porcellanschalen communicirten unter einander mittelst eines Asbestdrahts, mit den Platinschalen aber durch mit Wasser gefüllte Röhren.

(1)			(2)	(3)			(4)
Platin,	Salpeterf.,	Wasser,	Salzf.,	Salpeterf.,	Wasser,	Salpeterf.,	Platin.
—	—	—	Essigf.	—	—	—	—
—	—	—	salpetrige S.	—	—	—	—
—	—	—	alkal. Aufl.	—	—	—	—
—	—	—	Aufl. v. salpeterf., schwefelf. Salzen u. s. w.	—	—	—	—
Platin,	Schwefelf.,	Wasser,	Salpeterf.,	Schwefelf.,	Wasser,	Schwefelf.,	Platin.
—	Phosphorf.	—	—	Phosphorf.	—	Phosphorf.	—
—	—	—	Salzsäure	—	—	—	—
—	—	—	Schwefelf. alkalische u. Salzlösungen	—	—	—	—

Wie gering die Heterogeneität zweier Metallplatten zu sein brauche, um Veranlassung zu Erzeugung eines elektr. Stromes zu werden, sieht man daraus, daß zwei Platten eines und desselben Metalles durch ungleichzeitiges Eintauchen in eine leitende Flüssigkeit schon Elektr. zu erregen im Stande sind. Man befestige zwei Platten eines homogenen Metalles an die Enden des Multiplicatordrahtes und senke erst die eine, nach einiger Zeit dann auch die andere Platte in eine Flüssigkeit; sogleich bei Einsenkung der zweiten Platte wird der Multiplicator die Gegenwart eines elektr. Stromes nachweisen, welcher von der zuerst eingesenkten nach der später eingetauchten Platte geht, so also, daß die erste Metallplatte pos. die andere neg. elektrisch ist. Der Versuch gelingt um so besser, je leichter oxydirbar das angewendete Metall ist, am besten mit Zink. Die Flüssigkeit kann ein saures oder salziges Wasser sein und bei einem hinlänglich empfindlichen Multiplicator und einem leicht oxydirbaren Metalle wie Zink tritt die Erscheinung schon in gewöhnlichem Wasser auf. Man kann den Versuch noch weiter fortsetzen, indem man die zuerst eingetauchte Platte, welche sich pos. elektr. gezeigt hatte, aus der Flüssigkeit herauszieht, während die andere Platte darin bleibt, und sie nach einiger Zeit wieder eintaucht; nun hat der elektr. Strom die entgegengesetzte Richtung, die vorher neg. elektr. Platte ist jetzt die positive, die vorher pos. ist jetzt die negative. Diese Um-

Digitized by Google

kehrungen lassen sich durch wechselndes Herausziehen und Wiedereinsenken der vorher zuletzt wieder eingetauchten Platte so oft wiederholen als man will. Man sieht hieraus, daß die der einen Metallplatte mitgetheilte Eigenschaft, positiv elektr. zu werden, eine vorübergehende ist, und daß die posit. elektr. Platte allemal diejenige ist, welche schon vor dem Einsenken der zweiten Platte in der Flüssigkeit sich befand. Bis jetzt ist es noch nicht ausgemacht, ob auch die durch Säuren nicht angreifbaren Metalle durch ungleichzeitiges Einsenken in diese elektrisch werden. Indeß bestätigen auch die Versuche mit Schwefelleberlösung die Annahme, daß die elektr. Strömung von dem chemischen Eingreifen der Flüssigkeit auf das Metall abhänge. Bei dieser ist nämlich die Reihenfolge, in welcher die Metalle hinsichtlich der Stärke der hervorzubringenden Strömung stehen, eine andere als bei den sauren und salzigen Flüssigkeiten und richtet sich wiederum nach dem Verhältniß, in welchem dieselben von der Schwefelleberlösung angegriffen werden. Kupfer und Silber geben stärkere Wirkung als Blei und Eisen. Bei englischem Zinn konnte Fechner gar keine Strömung bemerken. Auch bei Schwefelleberlösung so wie bei alkalischen Lösungen ist stets das zuletzt eingetauchte Metall negativ elektr. gegen die zuerst eingetauchte positiv elektr. Platte.

Daß indeß eine chemische Veränderung an der Oberfläche des zuerst eingetauchten Metalles die unmittelbare Ursache des auftretenden elektr. Gegensatzes sei, dagegen sprechen mehre Resultate der Beobachtungen. Da oxydirtes Zink negativ elektr. gegen blankes Zink ist, so müßte hiernach vielmehr die zuerst in das Wasser eingesenkte Zinkplatte negat. elektr. sein, weil das Zink im Wasser sich zu oxydiren strebt. Fechner führt noch folgende jener Annahme widersprechende Versuche an. Sowohl wenn man zwei ganz frisch gefeilte, als wenn man eine an der Luft ganz matt gewordene gegen eine frischgefeilte Zinkplatte in etwas Kochsalz haltendem Wasser prüft, hängt der Erfolg stets auf gewöhnliche Art von dem früheren Eintauchen, gleichviel, welche Platte es betrifft, ab, ungeachtet nach Beendigung des Versuches weder die Politur noch die Mattheit der Platte eine Veränderung erlitten zu haben scheinen. — Man lasse ferner eine Zinkplatte erst längere Zeit hindurch eingetaucht, ziehe sie dann heraus, tauche die andere hinein und gleich nachher wieder die erste hinzu, diese, ungeachtet sie längere Zeit gehabt hat in der Flüssigkeit sich zu verändern, wird sich dennoch negativ gegen die andere verhalten, die nur sehr kurze Zeit in der Flüssigkeit gewesen. — Daß auch die Luft bei diesen Erscheinungen keinen besondern Einfluß habe, schließt Fechner daraus, daß ihm die Versuche mit gleichem Erfolge gelangen, als er sie in Wasserstoffgas und in kohlensaurem Gas wiederholte.

Wir kehren jetzt zu den interessantesten Wirkungen der galvanischen Elektr. zurück, deren ersten Beobachtungen wir die Entdeckung des Galvanismus verdanken, nämlich zu den physiologischen Wirkungen des Galvanismus. Dieselben treten dann auf, wenn der Galvanismus auf einen lebendigen Körper einwirkt, und dieses ist stets der Fall, wenn ein solcher oder ein Theil desselben einen Theil der galvanischen Kette

Digitized by Google

ausmacht. Um dieses zu bewirken, werden die von den Polen ausgehenden Leitungsdrähte mit den entgegengesetzten Enden des lebendigen Körpers oder Körpertheiles in Berührung gesetzt; dann durchzieht der galvanische Strom den ganzen Theil des Körpers zwischen den beiden mit den Leitungsdrähten verbundenen Stellen, äußert aber die stärkste Wirkung an diesen Stellen selbst. Um eine innigere Verbindung der Leitungsdrähte mit den verschiedenen Körpertheilen herzustellen, werden diese mit angemessen gestalteten und gebogenen Metallplatten, Armaturen (lat., Bewaffnungen) versehen. Die Stellen, an welchen die Armaturen aufgelegt werden, werden überdieß zu Beförderung der Ueberleitung, um auffallendere Wirkungen zu erhalten, vorher mit Salzwasser befeuchtet, so wie man auch die Hände mit Salzwasser benetzt, wenn man, um die galvan. Wirkung zu empfinden, die Leitungsdrähte mit denselben anfaßt. Zu Anstellung der Versuche über die physiologischen Wirkungen des Galvanismus bedient man sich theils des einfachen Elektromotors, theils der Voltaschen Säule.

Schon vor eigentlicher Entdeckung des Galvanismus hat im Jahre 1760 Sulzer diejenige Wirkung beschrieben, welche ein einfaches Plattenpaar heterogener Metalle auf den Geschmacksinn äußert: „Wenn man zwei Stücke Metall, ein bleiernes und ein silbernes, so mit einander vereinigt, daß ihre Ränder Eine Fläche ausmachen, und man bringt sie an die Zunge, so wird man einen gewissen Geschmack daran merken, der dem Geschmack des Eisenvitriols ziemlich nahe kommt, da doch jedes Stück besonders nicht die geringste Spur von diesem Geschmacke hat.“ Der früher angeführte Umstand, daß ein geringer Theil positiv elektr. Metalles, eine größere negat. Metalles elektrisch erregt, erklärt die Beobachtung, daß die Geschmacksempfindung viel merklicher ist, wenn der Zink die Zunge an einem kleinen Theile, das Silber oder Kupfer aber einen großen Theil der Oberfläche berührt, als wenn umgekehrt viel Zink und wenig Kupfer oder Silber mit der Zunge in Berührung kommt.

Wie hier das Geschmacksorgan, so werden auch die andern Organe des thierischen Leibes, aber jedes auf eigenthümliche Weise, durch den Galvanismus afficirt, es findet galvanische Reizung statt. Im Allgemeinen ist diese um so stärker, je mehr und je wichtigere Nerven in die Kette gebracht werden. Die Muskeln und andere Theile scheinen nur durch ihre organische Verbindung mit den Nerven in das Spiel der Erscheinung gezogen zu werden.

Die stärkste Wirkung des Galvanismus findet statt bei Schließung und Trennung der Kette, in der Zwischenzeit ist die Wirkung geschwächt und gleicht mehr einer anhaltenden Empfindung, welche bei schwachen Ketten fast verschwindet. Die Reizbarkeit durch Galvanismus ist bei den verschiedenen Klassen so wie bei den verschiedenen Individuen derselben Klasse lebendiger Wesen sehr verschieden, namentlich sind schwache Menschen, Kinder, solche, die eine schwache Brust haben, besonders reizbar, weniger dagegen alte Leute, namentlich wenn sie mit Schnupfen, Gicht oder Rheumatismus behaftet sind.

Die einfache Kette äußert auf das Gefühlsorgan unverletzter Theile

Digitized by Google

des Körpers keine merkliche Einwirkungen; dagegen theilt denselben die Säule Erschütterungen mit, welche bei einer großen Anzahl von Plattenpaaren einen nicht zu ertragenden Grad erreichen können. Schon Volta hat diese Wirkungen der Säule beschrieben. Man errichte eine Säule von 100 Plattenpaaren Zink und Kupfer von etwa 2 Quadratzoll Oberfläche mit Tuchscheiben, die mit kalter Salmiakauflösung getränkt sind, deren Platten von 10 zu 10 mit Haken versehen sind. Schließt man eine solche Säule mit vollkommen trockenen Fingern, so hat man so gut wie keine Empfindung, sind dagegen die Finger genäßt, so wird man, indem man den einen Finger auf die unterste Stelle aufsetzt und nach der Reihe an der 10ten, 20sten Platte u. s. f. schließt, von einer eigenthümlichen, betäubenden, den Finger zusammenschnürenden und im Augenblicke der Schließung zugleich augenblicklich erschütternden Empfindung afficirt, die um so unangenehmer wird und um so weiter sich in der ganzen Länge des Fingers erstreckt, je größer das Stück der Säule ist, welches auf diese Weise geschlossen wird. Noch unangenehmer wird die Empfindung in den schließenden Fingern, wenn sie mit Kochsalzauflösung oder gar mit Salmiakauflösung befeuchtet sind. Dieses ist in noch viel höherem Grade der Fall, wenn man vom unteren Pole der Säule aus einen breiten Stanniolstreifen in ein Becken mit Wasser, besonders mit warmem Kochsalzwasser gehen läßt, in welches die eine Hand getaucht wird, während man mit der anderen gleichfalls mit Kochsalz- oder Salmiakauflösung hinlänglich genäßten Hand eine Metallplatte oder ein anderes hinlänglich großes Metallstück, am besten von Zink umfaßt und durch eine rasche Berührung eines jener hervorstehenden Haken oder des Randes einer der Platten der Säule mit den Metallstücken schließt. Schon bei der Berührung der vierten Platte einer wie oben beschriebenen Säule wird man beim Eintauchen eines Fingers in das Becken eine Art von stechender Empfindung bemerken, beim Eintauchen der ganzen Hand wird man bei Berührung der zehnten Platte schon eine leichte Erschütterung fühlen, die bis zum Handgelenk in beiden Händen sich erstreckt, bei der Berührung der 40sten Platte erstrecken sich die Erschütterungen durch beide Arme bis zu den Schultern, vorzüglich durch denjenigen Arm, dessen Hand in das Wasser des Beckens eingetaucht ist, wenn dasselbe mit dem negat. Pole in Verbindung steht; ist bloß ein Finger eingetaucht, so concentriren sich diese Erschütterungen mehr ausschließlich auf diesen, sind um so schmerzhafter und fast unerträglich. Schließt man bei der 60sten, 70sten Platte, so werden diese Erschütterungen immer unangenehmer, erstrecken sich bis in die Brust und sind, wenn man sich entschließen kann, die ganze Säule so zu entladen, so heftig, daß man den Versuch nicht leicht wiederholt. Dabei sind mit diesen Erschütterungen auch krampfhafte Zusammenziehungen der Muskeln verbunden; wiederholt man kurz nach einander die Schließungen selbst nicht höher hinauf als bis zur 40sten Platte mit zwei Metallstücken, die man mit der nassen Hand wohl umspannt hat, so wird der Arm gleichsam betäubt. Volta vergleicht die augenblickliche Erschütterung, welche man bei der Schließung empfindet, mit derjenigen, welche eine Batterie von sehr großer Oberfläche,

Digitized by Google

die zu einem sehr schwachen Grade von Spannung geladen ist, ertheilt, vorausgesetzt, daß man auf dieselbe Weise durch große Metallstücke, die mit den nassen Händen umfaßt sind, die Entladung vornehme. Von dem Schlage einer mäßig geladenen Leidner Flasche unterscheidet sich der galvanische Schlag dadurch, daß jener weit weniger nach Innen zu gehend, die Organe gleichsam mehr von Außen trifft und in einem Momente erschöpft ist, der galvanische hingegen weit mehr in das Innere der Organe eindringt, und man gleichsam seine Fortpflanzung im Innern längs dem Laufe der Nerven recht deutlich unterscheidet. Auch haben nach Volta's Versuchen die Erschütterungen, die seine Säule ertheilt, die größte Aehnlichkeit mit den Erschütterungen, welche die Krampfrochen verursachen. Nach Ritter gleicht der galvan. Schlag dem von einer Leidner Batterie, je mehr man (wie gewöhnlich bei Entladung Leidner Flaschen geschieht) Schließung der Säule mit trockener Oberfläche der Hände anwendet, oder je mehr man umgekehrt die Schließung zwischen den Belegen der Leidner Flasche mit feuchten Händen vornimmt. Wenn mehre Personen, eine die andere, mit feuchten Fingern anfaßt, und die erste den pos., die letzte den neg. Pol berührt, so erhalten alle den nämlichen Schlag, welcher im Verhältniß der Zahl der Personen abnimmt.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß der galvan. Schlag besonders dadurch verstärkt werde, daß man den Händen mittelst feuchter Leiter eine große Berührungsfläche mit den metallischen Polen der Säule gibt, z. B. daß man mit den befeuchteten Händen eiserne Kugeln oder Metallbleche umfaßt und mit diesen die Pole berührt; besonders zu bemerken ist aber noch der Umstand, daß, wenn man die feuchte Berührungsfläche bloß auf Einer Seite vergrößert, während man sie auf der anderen unverändert läßt, die Stärke des Schlages blos auf letzterer Seite zunimmt, auf ersterer, wo die Berührungsfläche vergrößert wird, sich dagegen vermindert, und wenn man dieß Verhältniß recht weit vergrößert, auf der einen Seite ganz verschwinden kann, während der Schlag auf der anderen ausnehmend gesteigert wird. Vergrößert man aber jetzt auch die Berührungsfläche auf dieser Seite immer mehr, so steigt entsprechend die Stärke des Schlags auf der anderen Seite, während sie sich auf dieser mindert. Jedenfalls aber bleibt die Stärke des Schlags auf beiden Seiten größer, wenn die gleichen Berührungsflächen auf beiden Seiten größer als wenn sie kleiner sind.

Nach Ritter finden noch besondere Unterschiede statt in Bezug auf die galvan. Schläge, je nach ihrem Auftreten bei Schließung oder bei Eröffnung der Kette, so wie je nachdem das Organ mit dem posit. oder negat. Pole der Säule in Verbindung gesetzt wird. Der Schlag, den man vom negat. Pole der Säule bei der Schließung erhält, ist bei gleicher feuchter Berührungsfläche nicht nur absolut stärker, sondern erstreckt sich auch auf eine größere Länge als der, welchen man am pos. Pole der Säule empfängt. Doch fand Ritter, daß, wenn man die Stärke der Säule (z. B. durch Verminderung ihrer Plattenzahl) immer mehr abnehmen läßt, der Schlag auf der posit. Seite durchaus nicht früher verschwindet, als auf der negat., wiewohl er sich auf der negat. stets

Digitized by Google

weiter erstreckt, und z. B. auf der negat. Seite noch bis in die vordere Hälfte des ersten Fingergliedes fühlbar ist, wenn er auf der pos. Seite nur noch als ein leichtes Hüpfen in der Spitze des Fingers erscheint. Uebrigens glaubt sich Ritter überzeugt zu haben, daß, wenn der Schlag an der neg. Seite sich auf eine größere Länge erstreckt, er dagegen auf der positiven mehr in die Breite gefühlt wird, so daß, wenn man, in so fern dieß zulässig ist, in jedem Falle Länge mit Breite multipliciren wollte, man ziemlich dieselben wahren Größen für den Umfang beider Schläge erhalten würde. Jedoch nicht bloß der Umfang des Schlags, sondern auch die Eigenthümlichkeit der Empfindung, die man durch denselben erhält, ist am negat. Pole anders geartet, als am positiven. Am besten sind nach Ritter zu ersten Versuchen hierüber Säulen von einer mäßigen Wirksamkeit, z. B. bei mit Kochsalzauflösung genäßten Pappen, von 60 bis 100 Plattenpaaren. Man bringe dazu einen Finger von jeder Hand, den man zuvor recht feucht gemacht, jeden in derselben Fläche, mittel- oder unmittelbar, mit einem der beiden Pole der Batterie in Verbindung. Der Schlag tritt in beiden Fingern mit einer Verschiedenheit seiner Qualität ein. Der Finger auf der negat. Seite wird von seinem Verbindungsorte mit der Batterie aus nach innen zu wie in geraden Linien schneidend durchdrungen; es ist fast, als ob durch und durch in ihm etwas weggenommen würde und nun das Uebrige einander näher zustürzen müßte, oder der Finger, die Hand u. s. w. schwände. Alles, was sich mit diesem Finger im Augenblicke des Schlags zuträgt, geschieht ihm, wie von Außen nach Innen, und man kann den ganzen Vorgang mit keinem bündigern Namen als dem einer Contraction im eigentlichsten Sinne des Worts belegen. Dem Finger auf der posit. Seite hingegen wird im Augenblicke des Schlags seine Hülle gleichsam zu eng, es ist ein Drängen und Treiben, als wollte er aus sich selber heraus. Statt daß vorhin Alles in schneidenden Strahlen nach Innen hinein ging, will hier Alles in drückender stumpfer Geberde von Innen nach Außen; der Finger befindet sich in einem Zustande von Auftreibung und Spannung, genau, wie wenn er entzündet und davon angeschwollen wäre. In einem Worte, es kann dafür am passendsten der Ausdruck Expansion gebraucht werden. Die beschriebene Charakteristik des Schlages bleibt richtig, wie groß oder wie klein man auch theils die Batterie theils die Verbindungsflächen mit ihr im Versuch nehmen möge, endlich welches auch immer die Theile des Körpers sein mögen, die mit der Batterie in Verbindung kommen. Schließt man z. B. mit der Zunge am pos. Pole die Batterie (während man mit der Hand oder einem beliebigen anderen Theile am negat. Pole schließt), so läßt der Schlag, den sie dabei erhält und der auch an sich schon recht deutlich wie ein Stoß von Innen nach Außen empfunden wird, auf der Stelle, mit der geschlossen wurde, genau einen Eindruck zurück, als ob von dem Schlage eine Beule auf ihr entstanden wäre. Schließt man dagegen mit ihr auf der negat. Seite der Batterie, so läßt der wie ein Stoß von Außen nach Innen gefühlte Schlag ganz genau einen Eindruck zurück, als ob ein Loch in die Zunge geschlagen wäre. Aehnliche Unterschiede,

Digitized by Google

die sich auf das Gefühl von Expansion oder Contraction beziehen, zeigen sich bei Nase, Ohr, Augen. Was nun die Schläge betrifft, die man bei Trennung der Kette empfängt, so ist zuvörderst zu bemerken, daß sie gewöhnlich weit schwächer als die bei der Schließung empfangenen sind, so daß sie bei Batterien von geringer Wirksamkeit gar nicht mehr empfunden werden. Wenn die Schließungsschläge schon bei 10 Plattenpaaren erscheinen, fangen die Trennungsschläge nach Umständen erst bei 20 bis 40 Paaren an merklich zu werden, wo jene schon eine beträchtliche Stärke erreicht haben, und nehmen auch bei weiterer Vermehrung der Paare ohne Vergleich langsamer an Stärke zu, als die Schließungsschläge. Hinsichtlich der eigenthümlichen Empfindungen bei dem posit. und negat. Trennungsschlag nun findet nach Ritter durchaus das entgegengesetzte Verhältniß statt, als beim Schließungsschlag, indem der positive Trennungsschlag schwächer und contractiv ist, während der negative Schließungsschlag sich stärker und expansiv verhält. Auch ist die Trennung mit einer merklichen Verminderung der Zustände begleitet, in denen sich das Organ während des Geschlossenseins befand, indem z. B. der Grad schwerer Beweglichkeit, in welche der Finger durch ein längeres Verbleiben in der Kette am negat. Pole versetzt wird, und eben so der Grad der am posit. Pole erlangten höheren Beweglichkeit mit und nach der Trennung um ein Deutliches verringert wird, und zwar um weit mehr, als durch Ausgleichung des Organismus für sich in der nämlichen Zeit der Fall sein würde.

Mit diesen Beobachtungen Ritter's stimmen indeß die Versuche anderer Physiker nicht durchaus überein, wenigstens sollen die Gegensätze nicht so scharf, wie sie Ritter schildert, auftreten. Wohl kein Physiker hat aber so viele Beobachtungen über die physiologischen Wirkungen des Galvanismus angestellt, als gerade Ritter. Während des Geschlossenseins der Kette dauert das Gefühl des galv. Schlages nicht fort; nach Ritter bleibt aber auf der positiven Seite das Gefühl der Expansion, auf der negativen das der Contraction, mit welchem der Schlag eintrat, mehr oder weniger auch während des Geschlossenseins zurück.

Die Schläge, welche man bei der Schließung einer galv. Säule erhält, richten sich hinsichtlich ihrer Stärke nach der Anzahl und der Dauer der vorhergehenden Schließungen, je mehr Schließungen nämlich vorhergegangen und je länger dieselben gewährt haben, desto schwächer ist der Schlag bei neuer Schließung. Umgekehrt ist das Verhältniß bei den Schlägen, welche man bei der Trennung der Kette erhält; dieselben sind desto stärker, je länger die der Trennung vorhergehende Schließung gewährt hat. Indeß ist doch der Schlag bei der Trennung niemals stärker als der Schlag bei der auf diese Trennung wieder folgenden Schließung. Ritter will ferner auch gefunden haben, daß ein Organ um so weniger empfänglich für den Schlag bei der Schließung auf der einen Seite und dadurch zugleich um so empfänglicher für den Schlag bei der Schließung auf der anderen Seite werde, je auffallender die Schließungen auf jener Seite der Batterie waren. Gegentheils soll die Empfänglichkeit eines Organs für den Trennungs-

Digitized by Google

schlag auf der einen Seite der Batterie durch anhaltende Schließung für diese Seite erhöht, für die andere Seite geschwächt werden.

Durch Einbringen des ganzen Leibes oder eines großen Theiles desselben in die Kette wird der ganze Organismus afficirt. Ritter will auch in dieser Beziehung einen Gegensatz beobachtet haben. Bringt man nämlich den posit. Pol nahe am Kopfe mit der oberen Gegend des Rückgrades, den negat. Pol dagegen mit der unteren oder mit den Füßen in Verbindung, so ist die Folge ein durch den ganzen Körper sich erstreckendes Uebelbefinden: Kopfweh, Uebelkeit, Unbehaglichkeit in allen Gliedern u. s. w. Wird dagegen der posit. Pol mit den Füßen, der negat. mit der oberen Gegend des Rückgrades verbunden, so tritt die entgegengesetzte Wirkung ein: Heiterkeit, allgemeine Behaglichkeit u. s. w. Ritter gibt eine höchst interessante Beschreibung der Folgen, welche eine längere Zeit währende Schließung einer Säule mit beiden Händen bewirkte. Der Strom ging hiernach quer durch seinen Körper hindurch:

„Eines Tages hatte ich den ganzen Morgen mit Versuchen über die Einwirkung des Galvanismus auf die Sinnesorgane und mit Batterien, so stark ich ihre Wirkung jedesmal vertragen konnte, zugebracht, und beschloß sie darauf mit einem weitläuftigeren Versuche, der mich, was ich schon lange gewollt hatte, lehren sollte: welchen Einfluß eine längere Einwirkung geschlossener galvanischer Batterienketten, in denen sich mein Körper ganz als Glied befände, auf mich haben könnte. Ich setzte mich dazu mit einer Zinkkupferbatterie von 100 Lagen, die überdieß noch schon seit gestern errichtet war, also schon beträchtlich von ihrer anfänglichen Wirksamkeit verloren hatte, auf eine gute halbe Stunde in Verbindung. Beide Hände feuchtete ich stark und gleichförmig mit Salzwasser an, faßte in jede ein Stück Eisen von beträchtlicher Oberfläche (eine Zange mit breiten Griffen) und brachte sie hierdurch mit den beiden Enden der Batterie in gehörige Verbindung. Der Schlag, den ich bei der Schließung der Kette erhielt und der auf der Kupferseite auffallend angreifender als auf der Zinkseite war, erstreckte sich die Arme hinburch bis über die Schulter hinaus, und ich mußte mich anstrengen, um durch Ueberwältigung der bis zur äußerlichen Sichtbarkeit der Zuckungen mehrer Armmuskeln gehenden, und die Arme beim Freilassen derselben auf dieselbe Weise, wie vom Ganzen abgetrennte contractile thierische Theile, schleudernden Convulsionen, der Batterie selbst keinen Schaden zukommen zu lassen. Kurz nach dem Eintritte in diese Kette empfand ich in dem mit der Kupferseite der Batterie in Verbindung stehenden Arme und dessen Hand eine merkliche Kälte, als ob ein kalter Wind sie anwehte, ungeachtet alle äußere Veranlassung hierzu mangelte. In der Hand und dem Arme der anderen Seite erzeugte sich allmählig, doch nicht so bald so deutlich, grade das Gegentheil von dem Vorigen, d. i. eine merkliche Wärme, begleitet von einem starken unangenehmen Jucken durch die ganze Hand. Auch fand sich in dem Arme der Kupferseite nach und nach eine deutliche Steifheit und Abgang an Beweglichkeit, und zuletzt merkliche Spannungen in der Gegend der Schulter ein, von welchen allen der Arm der Zinkseite der

Digitized by Google

Batterie so sehr befreit blieb, daß ich vielmehr lieber eine Vergrößerung seiner Beweglichkeit angeben möchte, wäre man nicht berechtigt, in Bestimmungen dieser Art, wozu man sich Zustände seiner selbst von Stunden her dem Grade und der Art nach so genau bewußt sein muß, einiges Mißtrauen zu setzen. Beide Arme mit ihren Händen waren übrigens die ganze Zeit des Versuches über in gleicher Lage u. s. w. gewesen. Ich verließ nach einer reichlichen Stunde die Batterie, ohne etwas Weiteres als das Erwähnte zu wissen. Aber keine Viertelstunde verging, als ich ohne die geringste mir bewußte sonstige Veranlassung dazu Schmerzen im Unterleibe und einige Zeit darauf wirklich Diarrhöe bekam, die (der Versuch geschah noch Vormittags) den ganzen Nachmittag hindurch anhielt. Eine damit verbundene allgemeine Mattigkeit und Schläfrigkeit in allen Gliedern nöthigte mich, über Gewohnheit zeitig das Bett zu suchen und es bis den andern Morgen spät zu hüten. Auch diesen folgenden Tag dauerte sie nebst einem widrigen Wüstesein im Kopfe, abgebrochenen Neckereien in den Zähnen und einem, seit dem vorigen Tage sich, sobald ich mich zurücklehnte oder niederlegte, einfindenden empfindlichen Reize im Halse fort. Ein sehr widriger Zustand allgemeiner Lästigkeit und Mattigkeit machte mich mehre Tage zu ernstlichen Arbeiten ganz untauglich und noch jetzt, fast 1½ Wochen darnach, macht mich jede sonst unbedeutende Anstrengung des Körpers wie des Geistes gleich matt und leidend, und galvanische Versuche widerstehen mir so sehr, daß, so sehr sie mich auch vorher von allen Seiten anzogen, ich mich ordentlich angreifen muß, wenn ich mich ihrer von Neuem anzunehmen habe."

Most ließ wiederholt Schläge einer starken Batterie durch die Länge seines Körpers gehen, indem die Füße mit dem negat., der Arm mit dem posit. Pole in Verbindung stand. Die begleitenden und folgenden Erscheinungen waren heftige Congestionen, veränderte Körpertemperatur, verstärkte Transspiration, Urinabsonderung, Diarrhöe, Athembeklemmung, starrkrampfähnliche Zufälle u. s. w. Ueber Arme und Beine, selbst über Brust und Hals breitete sich eine Scharlachröthe aus mit kleinen Frieselstippchen dazwischen, besonders in der Gegend, auf welche zunächst der negat. Pol wirkte. Drei bis vier Stunden nach dem Galvanisiren bemerkte Most zuweilen ein plötzliches Zucken in den Füßen, in den Wadenmuskeln und in anderen Theilen, welche nicht direct in die galvanische Kette gekommen waren. Hat man sich auf einem Isolatorium eine Viertelstunde lang galvan. Strömungen oder Schlägen ausgesetzt und berührt nachher (bis zu 2 Stunden nach dem Versuche) einen reizbaren Menschen, z. B. ein Kind, eine hysterische Frau, so empfinden diese Personen im Augenblicke der Berührung schmerzliche Zuckungen. Nicht allein die Säule, sondern auch schon eine einfache Kette bringt im thierischen Organismus merkwürdige Wirkungen hervor. Verbindet man nach Achard die Mundhöhle und den After eines Menschen durch Zink und Silber, so entstehen Schmerzen im Unterleibe, die Thätigkeit des Magens nimmt zu und es entsteht eine Veränderung der Excremente. Als Humboldt das Silber etwas tief in den After hineinschob, so nahm er helle Blitze vor beiden Augen

Digitized by Google

wahr. Humboldt hat auch ähnliche Versuche mit verschiedenen Thieren angestellt. Nachdem ein sterbender Hänfling den letzten sichtbaren Athemzug gethan, die Augen geschlossen hatte, auf dem Rücken lag und durch mechanisches Prickeln am After keine Spur von Bewegung mehr hervorgebracht wurde, steckte ihm Humboldt ein Zinkplättchen zwischen den Schnabel und Silber in den After und verband die beiden Metalle durch eine eiserne Kette. Alsbald öffnete der Hänfling die Augen, richtete sich auf und schlug mit den Flügeln. Er athmete ungehindert wieder 6 bis 8 Minuten, worauf er aufs Neue umsank und ruhig starb. Bindet man einem lebendigen unverletzten Frosch mit einem seidenen Faden die Hinterschenkel zusammen und setzt ihn mit dem Steiß auf Zink, so kann man ihn mit Zink im After reizen, ohne daß er sich wirklich bewegt. So wie man ihn aber mit Silber berührt, sprengt er die Fäden und thut oft einen 8 Zoll weiten Satz.

Auf die Muskeln äußert der Galvanismus zusammenziehende Wirkung. Wenn man einen von der äußern Haut entblößten Muskel eines thierischen Körpers (derselbe mag nun noch leben, oder kurz vorher getödtet sein) in die Kette bringt, so erfolgen bei der Schließung und zuweilen auch bei der Trennung der Kette Contractionen des Muskels. Während der Dauer der Schließung bleibt der Muskel jedoch ruhig. Solche Contractionen entstehen auch, wenn man einen Theil eines entblößten Nerven in die Kette nimmt, indem man die einfachen Erreger oder Polardrähte der Säule auf verschiedene Punkte desselben aufsetzt. Es gerathen dann alle diejenigen Muskeln in Zuckungen, welche Zweige von diesem Nerven unterhalb der geschlossenen Stelle erhalten. Nach Erman hat während des Geschlossenseins der Kette der Muskel sein gewöhnliches Volumen, bei den Zuckungen der Schließung und der Trennung findet aber eine Volumenverminderung des Muskels statt. Diese Zuckungen erfolgen bei den Muskeln getödteter Thiere so lange als noch ein Funke thierischen Lebens in dem Körper ist. Man hat vielfache Versuche an Cadavern frisch getödteter Menschen und Thiere angestellt, welche zum Theil sehr interessante Erscheinungen zu Folge gehabt haben. Folgende Versuche stellte Ure an einem vor einer Stunde Gehängten an. Als der mit einem Pole der Batterie aus 270 Plattenpaaren, mit verdünnter Schwefelsäure aufgebaut, verbundene Stab mit dem Rückenmark in Berührung gebracht ward, während der andere Leitungsstab den ischiadischen Nerven berührte (nach gehöriger Bloßlegung dieser Theile), gerieth jeder Muskel des Körpers sogleich in heftige krampfhafte Bewegungen, die einem heftigen Frostschauer glichen. Wurde der zweite Stab auf die Ferse (in einen Einschnitt) gerichtet, nachdem das Knie zuvor gebeugt worden war, so streckte sich der Schenkel mit einer solchen unwiderstehlichen Gewalt aus, daß er einen der dabei stehenden beinahe umwarf. Als die Spitze des einen Drahtes mit dem großen Kopfe des Zwerchfelles in Berührung gesetzt ward, während die andere den Zwerchfellsnerven im Nacken berührte, und nun der eine Draht an der Säule vom 220sten bis zum 270sten Plattenpaare fortgeführt ward, so daß mehre schnell hinter einander folgende an Stärke zunehmende Entladungen erfolgten, trat augenblicklich ein

Digitized by Google

tiefes, ja angestrengtes Athmen ein. Der Brustkasten hob sich und sank wieder; der Leib trat hervor und fiel wieder zusammen; das Zwerchfell erschlaffte und stieg wieder in die Höhe. Dieß dauerte ununterbrochen so lange fort, als die elektrischen Entladungen fortgesetzt wurden. — Als der eine Draht an den Supraorbitalnerven, der andere auf die Ferse gerichtet wurde, erfolgten außerordentliche Verzerrungen, so oft die Batterie wie vorhin durch Hinführen des einen Drahtes vom 220sten bis 270sten Plattenpaare entladen wurde. Jeder Muskel des Gesichtes gerieht in furchtbare Thätigkeit; Wuth, Schreck, Verzweiflung, Angst und fürchterliches Lächeln drückte sich vereint in dem Gesichte aus, so daß mehre Zuschauer vor Entsetzen und Uebelkeit sich entfernen mußten, einer sogar in Ohnmacht fiel. — Als mit einem Draht am Rückenmark, mit dem anderen am Armnerven wie vorhin geschlossen ward, bewegten sich die Finger schnell, wie die eines Violinspielers, und ein Gehülfe versuchte vergebens die Hand zur Faust zu ballen. Wurde der eine Stab in einen kleinen Einschnitt in die Spitze des Zeigefingers gebracht, so streckte sich dieser augenblicklich aus, da man vorher die Faust geballt hatte. Mit dem krampfhaft bewegten Arme schien er auf die verschiedenen Zuschauer zu zeigen, von denen einige glaubten, er sei ins Leben zurückgekehrt.

Betrachten wir jetzt einzeln die Wirkungen des Galvanismus auf die verschiedenen Sinnesorgane. Schon oben ist ein Beispiel der Wirkung des Galv. auf das Geschmacksorgan angegeben worden; man kann den Versuch in folgender Gestalt abändern. Man fülle einen Becher von Zinn oder Zink mit Brunnenwasser und tauche die Spitze der Zunge hinein, so wird man nur den gewöhnlichen schwachen Geschmack des Wassers wahrnehmen; drückt man darauf aber während dieser Berührung zugleich den Zinkbecher stark gegen eine silberne Platte, die man in gut mit Salzwasser oder saurem Wasser befeuchteten Händen hält, so empfindet man einen merklich säuerlichen Geschmack. Zu Beförderung des Leitungsvermögens kann man dem Wasser im Becher einiges Kochsalz zufügen; das Resultat des Versuches ist dann um so auffallender. — Der positive Pol bewirkt auf der Zunge einen sauren Geschmack, der während der Schließung fortdauert, mit der Trennung jedoch in einen bittern alkalischen übergeht. Dagegen gibt der negative Pol bei der Schließung und während derselben einen alkalischen und erst bei der Trennung einen sauren Geschmack. Außer der Geschmacksempfindung tritt, wenn gleichzeitig eine breite Silberfläche unter und Zink über die Zunge gebracht wird, noch ein Gefühl auf, wie vom Genuß heißer Speisen. Kälte dagegen wird erzeugt, wenn die hintere obere Zungenfläche mit Zink, die untere mit Silber berührt wird, und diese Kälte nimmt zu, so wie man mit dem Zink weiter gegen die Wurzel der Zunge fortschreitet. Bei längere Zeit fortgesetztem Galvanisiren an dieser Stelle wird bis zum Erbrechen gehende Uebelkeit erregt. Humboldt, der diese Beobachtungen gemacht hat, fand ferner, daß, wenn man die Reizbarkeit der Zunge durch Bestreichen mit einer verdünnten alkalischen oder Chlorauflösung erhöht, man bei jeder Berüh-

Digitized by Google

rung der (vorher ganz unwirksamen) homogenen Zinkstange brennende Schläge in der ganzen Mundhöhle fühlt.

Um die Wirkungen des Galvanismus auf das Auge zu beobachten, bringe man an den inneren Winkel des Auges ein Stück Zink entweder unmittelbar oder unter Zwischeneinbringung eines in warmes Wasser getauchten Pölsterchen mit dem Augapfel und eine Silbermünze mit der inneren Lippenfläche in Berührung. Im Augenblicke der Schließung zwischen beiden Metallen entsteht das Gefühl eines blitzähnlichen Leuchtens in dem vom Zink berührten Auge. Dieses Gefühl erneuert sich bei jeder neuen Schließung, dauert aber während des Geschlossenseins der Kette nicht fort. Es zeigt sich dasselbe auch, wenn das Silber die Zunge oder einen beliebigen anderen Theil der inneren Mundhöhle berührt und selbst dann nach, wenn es nur durch Wasser in einem Glase, in welches die Lippen getaucht werden, mit diesen in Verbindung steht. Die Erscheinung wird lebhafter, wenn man die Theile der Mundhöhle, an welche das Silber gebracht wird, mit einer verdünnten alkalischen oder Chlorauflösung bestreicht. Das galvanische Leuchten ist in der Dunkelheit der Nacht lebhafter als bei Tage. Es erscheint ferner auch, aber schwächer, wenn der Zink an die Lippen oder die Zunge, das Silber an den Augapfel gebracht wird. Man bemerkt dann zugleich den Schein im Auge und den säuerlichen Geschmack auf der Zunge. Fechner führt noch folgende Abänderungen des Versuches an. Man bringt eine Metallplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und setzt sie darauf mit der anderen Metallplatte in Berührung, die man an das andere Auge oder im Munde hält, oder auch man hält dieses zweite Stück Metall mit der Hand, die recht feucht ist, fest und bringt dasselbe mit der ersten Metallplatte am Augapfel oder Augenlied zusammen, oder man bringt beide Metallplatten mit gewissen Stellen im Innern des Mundes und darauf mit einander in Berührung. Bei einer Säule von 20 bis 30 Paaren indeß erhält man das gleiche Leuchten, wenn man, indem man sich mittelst der Hand mit dem einen Pole der Säule in gehörige Verbindung setzt und an die Spitze eines Metallblechs oder einer Metallruthe, die mit dem anderen Pole in Verbindung steht, das Auge oder irgend einen Theil des Mundes, auch wenn man die Stirne, die Nase, die Wangen, die Lippen, das Kinn, sogar wenn man die Kehle daran bringt; mit einem Worte, welchen Theil des Gesichts man will, wenn er nur zuvor angefeuchtet ist. Doch ist die Gestalt und Stärke dieses Lichts nach den Stellen, auf welche man den elektr. Strom richtet, ein wenig verschieden; richtet man ihn z. B. auf die Stirn, so ist das Licht nicht sonderlich lebhaft und gleicht einem leuchtenden Kreise. Volta, welcher dieses beobachtet hat, fand auch, daß, wenn man das Metallblech fest zwischen den Lippen und die Spitze der Zunge daran hält, nachher mit einem anderen Theile des Körpers schließt, man eine Empfindung von Licht in den Augen, eine Zuckung in den Lippen und selbst in der Zunge, ein schmerzhaftes Stechen an ihrer Spitze und zuletzt noch Geschmack hat. Purkinje hat beobachtet, daß auch während des Schließens am Auge eigen-

Digitized by Google

thümliche subjective Erscheinungen auftreten, welche er näher beschreibt.

Bringt man den posit. Poldraht in den Mund und berührt mit dem negat. Poldraht den von den Augenliedern bedeckten Augapfel von vorn, so erscheint in dem früher dunkeln Gesichtsfelde an der Eintrittsstelle des Sehnervens eine hellviolette Lichtscheibe, im Achsenpunkte des Auges aber (d. i. im Centrum des Gesichtsfeldes) ein rautenförmiger dunkler Fleck, der mit einem rautenförmigen gelblichen Lichtbande umgeben ist; darauf folgt ein gleiches finsteres Intervall, dann noch ein etwas leuchtendes gelbliches Rautenband. Wechselt man die Pole, bringt den posit. Pol an das Auge und den Kupferpol in den Mund, so kehren sich die Licht- und die Schattenpartieen um; am Eintrittsort des Sehnerven ist ein finsterer kreisrunder Fleck, mit einem hellvioletten Schein umgeben, welcher Schein ferner als ein hellviolettes Rautenband gegen die Mitte des Gesichtsfeldes auf und nieder steigt, sich an der anderen Seite schließt; von diesem Rautenbande nach Innen zeigt sich ein finsteres Intervall und im Achsenpunkte des Sehfeldes eine glänzende hellviolette Rautenfläche. Der posit. Pol erleuchtet den Achsenpunkt des Auges und läßt die Eintrittsstelle des Nerven dunkel, während der negat. Pol die Eintrittsstelle des Nerven erhellt und den Achsenpunkt des Auges dunkel läßt.

Die ausführlichsten hierher gehörigen Versuche hat wiederum Ritter angestellt. Legt man eine Zinkplatte fest an den Augapfel, schließt daß Auge nicht, sondern hält es offen und still, bewegt auch die Augenlieder nicht, und bringt dann eine Silberplatte oder Silbermünze, womit man die obere Fläche der Zunge belegt hat, ohne Zittern mit dem Zinke in unmittelbare Berührung, so entsteht in diesem Augenblicke ein Lichtschein, den man gewöhnlich einen Blitz nennt, der sich aber von einem wirklichen Blitze darin unterscheidet, daß auf ihn nicht wieder die vorige Finsterniß folgt, sondern daß man einen fortdauernden, nicht zitternden, nicht sich alle Augenblicke erneuernden Schein, eine Hellung im Auge behält, von der man weiß, daß sie vorher nicht da war, und daß dem so sei, davon überzeugt man sich noch weiter dadurch, wenn man mit fester Hand die beiden Metalle so trennt, daß in der Trennung nur Aufhören des Contacts, nicht neue Berührung und Trennung enthalten ist, wo man alsdann bemerken wird, daß der Zustand des Auges, in welchem es sich vor dem Versuche befand, wieder eintritt, und das Licht verschwunden ist, welches Lichtverschwinden dem eines Blitzes abermals sehr ähnlich ist, nur wird man bei rechter Sorgfalt nicht finden, daß das plötzlich verschwindende Licht auch in diesem Augenblicke erst entstanden sei. Kommen, Bleiben, Verschwinden eines erhöhten Lichtzustandes des Auges sind demnach die der Schließung, dem Geschlossensein und der Trennung der Kette correspondirenden Phänomene. Bringt man dagegen mit Beobachtung der nämlichen Vorsicht, wie vorher beim Zink angegeben ist, das Silber an den Augapfel und die Zinkplatte an die Zunge, und beide auf erwähnte Art in Verbindung, so erfolgt gerade das umgekehrte des vorigen Versuchs; in dem Augenblicke der Schließung der Kette bemerkt man zwar gleichfalls

Digitized by Google

eine blitzähnliche Erscheinung, aber sie ist ganz gleich derjenigen, die man im vorigen Versuche bei der Trennung wahrnahm, es schwindet nämlich eine Portion Licht, die man vorher gar nicht gehabt zu haben glaubte, von deren Gegenwart vor dem Versuche man aber jetzt durch ihren eintretenden Mangel überzeugt wird, das Auge wird in einen dunkleren Zustand versetzt, es wird finsterer, und diese relative Finsterniß hält so lange an, als die Kette geschlossen bleibt; trennt man die Metalle behutsam, so stellt sich eben damit der Zustand des Auges vor dem Versuche wieder her, die Finsterniß verschwindet, es tritt eine Hellung an ihre Stelle, und man weiß, daß sie ganz derjenigen gleicht, welche vor der Anstellung des Versuchs im Auge war, deren man sich aber dort, wegen ihrer Gleichförmigkeit nicht unmittelbar bewußt war. In diesem Versuche correspondiren also Kommen, Bleiben und Schwinden eines erniedrigten Lichtzustandes des Auges der Schließung, dem Geschlossensein und der Trennung der Kette. Diese beiden Zustände beziehen sich demnach auf eine fortdauernde mittlere Lichttemperatur im Auge, die in dem einen Falle erhöht, in dem anderen vermindert wird. Ritter glaubte ferner auch einen Gegensatz in der Farbe des Lichtscheines bemerkt zu haben. Der mit der positiven Einwirkung auf das Auge eintretende Blitz soll sich durch eine blaue Farbe unterscheiden, welche auch der fortdauernden Helle während des Geschlossenseins zukomme und im Augenblicke der Trennung mit einem röthlichen wechsele, während bei umgekehrter negat. Einwirkung auf das Auge ein röthlicher Blitz erfolge, und die damit verbundene relative Verfinsterung durch einen blauen Blitz verschwinde. Nach Purkinje ist die Farbe des Lichtscheines bei schwacher galv. Wirkung ein schwaches Grau; bei stärkerer Wirkung zeigt sich am Zinkpole hellviolette, am Kupferpole gelbe Farbe. Zuweilen bemerkt man auch an einem Pole eine mehr grüne Nüance als am anderen. Ritter bemerkte, namentlich wenn er längere Zeit stärkere Ketten von 100 bis 200 Lagen auf das Auge wirken ließ, schon während des Geschlossenseins der Kette Umkehrungen der Wirkungen. Das anfänglich am posit. Pole erscheinende Blau ging allmählig durch Grau und Gelb in das intensivste Roth über, welches sich nach der Trennung wieder in Blau verwandelte. Am negat. Pole erfolgte eine solche Umkehrung schwieriger.

Auf die Organe des Geruchs und Gehöres zeigt die einfache Kette nur geringe Einwirkungen in Bezug auf die diesen Organen eigenthümlichen Wahrnehmungen. Bringt man jedoch ein etliche Zoll langes, etliche Linien breites und dickes gut abgerundetes Stück Reißblei so tief als ohne Gefahr geschehen kann in die eine Nasenhöhle und drückt es sachte an die eine Nasenscheidewand an, in die andere auf gleiche Weise ein ähnliches Stück Zink, und verbindet beide mit einem Stücke Zink oder einem anderen Metalle, doch so, daß nach Schließung der Kette dieselbe ungestört einige Zeit geschlossen bleibt, so sieht man im Augenblicke der Schließung einen mäßigen Lichtwechsel vor beiden Augen. Zugleich empfindet man einen heftigen Schlag auf die Scheidewand an den Endpunkten beider Erreger, und man glaubt eine Zuckung in dem Innern der Nase zu bemerken; auf der Seite, wo das Zink

Digitized by Google

anliegt, ist der Schlag mehr druckartig und scheint gleichsam von dieser auszugehen, da aber, wo das Reißblei anliegt, verwandelt er sich in ein sehr empfindliches Stechen, welches so lange fortdauert, als die Kette geschlossen bleibt; zugleich zeigt sich ein Hang zum Niesen, welches auch wohl nach längerer Fortsetzung des Versuches eintritt.

Nach Ritter erregt der negat. Pol (einer Säule) in der Nase, wenn man den Polardraht in die Höhle derselben führt, einen Drang zum Niesen, endlich dieses selbst, und zugleich einen geringen Geruch nach Ammoniak. Dagegen hebt der posit. Pol den vorhandenen Reiz zum Niesen auf und bringt überhaupt eine Abstumpfung der Nase wie etwa durch oxygenirte Salzsäure hervor. Zuweilen hat man eine Spur von saurem Geruche. Beim Oeffnen der Kette gehen die Zustände, die während des Geschlossenseins angehalten haben, in die entgegengesetzten über.

In Bezug auf die Wirkung auf das Gehörorgan hat schon Volta bemerkt, daß, als er zwei mit den beiden Polen einer Säule von 40 Plattenpaaren verbundene, vorn abgerundete Metalldrähte so tief wie möglich in die beiden Ohren hineinbrachte, er im Augenblicke der Schließung eine Erschütterung im Kopfe empfand, und einige Augenblicke nachher ein nicht zu beschreibendes Geräusch, eine Art von Zischen oder stoßweisem Bollern, wie wenn eine zähe Materie kochte, und das, ohne zuzunehmen, die ganze Zeit der Schließung hindurch fortdauerte. Nach Ritter findet auch in dieser Beziehung eine Verschiedenheit statt zwischen den Wirkungen des positiven und denen des negativen Poles. Bei Armirung Eines Ohres allein mit dem posit. Pole ist es mehr, als ob sich etwas auf dieser Seite vor den Kopf legte; bei Armirung mit dem negat. Pol hingegen dringt es geradezu hinein in schneidenden nach allen Richtungen gehenden Strahlen. Außer dem Schlage soll der posit. Pol eine Abnahme, der negat. eine Schärfung des Gehörs während des Geschlossenseins hervorrufen. Endlich behauptet Ritter, daß das bei der Schließung entstehende Geräusch mit einem scheinbaren Tone begleitet sei, der, wenn beide Ohren zugleich in der Kette sind, als $\bar{g}$ zu unterscheiden sei. Sei bloß das eine Ohr in derselben, so sei, wenn es sich am posit. Pol befinde, der Ton tiefer als $\bar{g}$, am neg. Pol aber höher als $\bar{g}$, und zwar resp. um so tiefer und höher, je stärker die Action der Säule ist; der höhere Ton sei zugleich merklich stärker als der tiefere; beide dauern während des Geschlossenseins der Kette fort, und gehen bei Trennung der Kette in den entgegengesetzten über, d. i. der höhere in den tieferen u. s. f.

Auch über die Wirkung des Galvanismus auf die übrigen einzelnen Organe des Leibes sind Versuche angestellt worden. Im Allgemeinen scheint die Thätigkeit eines Organes durch Schließung an demselben mittelst des posit. Poles erhöht, mittelst des negat. Poles herabgesetzt zu werden. Interessante Erfahrungen hat Humboldt über die Wirkung auf verwundete Stellen gemacht. Derselbe ließ sich nämlich zwei Blasenpflaster von der Größe eines Laubthalers in die Gegend der beiden Schulterblätter legen, die Blasen aufschneiden, auf die eine Wunde eine Silberplatte legen und berührte diese mit einem in der

Digitized by Google

Hand gehaltenen Leiter von Zink. Während vorher beim Aufschneiden der Blase wie gewöhnlich die Feuchtigkeit aus derselben ungefärbt herabgelaufen war, und sich, auf dem Rücken eingetrocknet, ohne Hinterlassung einer Spur leicht abwaschen ließ, so floß nach Applicirung und Schließung der galv. Kette sogleich neue Feuchtigkeit unter heftigem Brennen, welche nach wenigen Augenblicken rothgefärbt und entzündet war und über den Rücken herablaufend auf diesem blaurothe Streifen zurückließ. Humboldt beschreibt seine Empfindung bei diesem und einem ähnlichen Versuche folgendermaßen. Diese Empfindung, sagt er, hat für mich auch nicht die entfernteste Aehnlichkeit mit der des elektr. Ausströmens. Es ist ein Schmerz sui generis, der nicht das knipsend-stechende, abgesetzte, durchdringende hat, was das elektr. Fluidum erweckt. Ich unterscheide darin heftiges Pochen, einen ordentlichen Druck mit heftigem Brennen verbunden. Dieß Brennen ist ungleich empfindlicher, wenn die Wunde mit einer Silberplatte armirt und von einer Zinkstange in wenigen Berührungspunkten gereizt wird, als wenn eine Zinkplatte auf der Wunde liegt, und man die silberne Pincette zur Verbindung braucht. Der Druck ist oft so heftig, daß ich mit der geballten Faust auf die Schulter geschlagen zu werden glaubte, wenn alle Umstehenden versicherten, daß man mich kaum mit den äußersten Rändern der Metalle leise berühre. So wie matte Froschschenkel oft beim Anfange des Galvanisirens gar nicht, und nach drei- oder viermaligem Contact der Excitatoren lebhaft zucken, so habe ich ebenfalls deutlich an mir selbst bemerkt, daß die ersten Schläge nur dunkel empfunden werden, die folgenden vier bis sechs aber lebhaft afficiren. Bis zu Abstumpfung meiner gereizten Nerven, durch fortgesetzte Stimulation, habe ich es nie bringen können. Wenn das Galvanisiren auch $\frac{3}{4}$ Stunden lang fortgesetzt wurde, so blieb der Schmerz doch immer im Zunehmen. Noch am dritten Tage war die Wunde entzündet und ich spürte deutlich den Unterschied zwischen der mehr gereizten linken Schulter und der rechten. Während des Contacts der Metalle waren alle Hals- und Schultermuskeln in sichtbaren wellenförmigen Bewegungen. Der Cucullaris schwoll mächtig auf, so daß sich seine Contractionen aufwärts bis ans Hinterhauptbein und die Stachelfortsätze des Rückenwirbelbeins fortpflanzten. Ja das Haar selbst sträubte sich am Nacken. Wenn das eine Metall die Kantharidenwunde, das andere die unverletzte Oberhaut traf, so wurde — da die trockene Oberhaut der Thiere nicht leitet — weder Muskelbewegung noch schmerzhaftes Gefühl erweckt. Beide traten aber sogleich ein, als heterogene Metalle beide Wunden armirten und ein Eisendraht sie verband. Die Oberhaut bildete nun gleichsam eine 7 bis 8 Zoll breite Brücke, unter welcher durch das Malpighische Netz die Zuleitung geschah. Eben so zuckten Froschschenkel auf meinem Rücken, wenn Zink auf der einen Wunde, der Cruralnerv auf der anderen lag und ein silberner Conductor den Zink und die entblößte Haut nahe am Froschschenkel, ohne diesen selbst zu berühren, reizte.“

Die Empfänglichkeit für die Wirkungen des Galvanismus im thierischen Körper dauert so lange fort, als noch Lebenskraft in ihm

Digitized by Google

vorhanden ist, mit dieser hört aber alle Reizbarkeit auf. Getödtete Thiere behalten nach Aufhören der willkührlichen Bewegung ihrer Organe die Reizbarkeit für den Galvanismus längere oder kürzere Zeit nach Maßgabe der Dauer ihrer Lebenskraft. Warmblütige Thiere verlieren die Reizbarkeit nach dem Tode am schnellsten; länger dagegen behalten sie die kaltblütigen Thiere: Amphibien, Fische, Insekten. Unter den warmblütigen scheint der menschliche Körper vor allen am längsten reizbar nach dem Tode zu bleiben, am schnellsten verlieren alle Empfänglichkeit die Vögel. Auch kleine Säugethiere wie Mäuse verlieren die Reizbarkeit sehr schnell. Die längste Reizbarkeit zeigen die Amphibien, besonders Frösche und Flußschildkröten. Die Erregbarkeit der Fische dauert kürzere Zeit nach dem Tode, ist aber während dieser Zeit in ihren Aeußerungen sehr groß. Die Reizbarkeit getödteter Frösche währt zuweilen Tage lang, indem sie allmählig mehr und mehr bis zum endlichen Verschwinden abnimmt. Der Grad der Empfänglichkeit ist aber bei verschiedenen Individuen verschieden und hängt von mannigfachen Umständen ab. Im Allgemeinen haben die Frösche die größte Reizbarkeit zu Anfang des Frühlings, wo dieselben aus dem Winterschlafe erwachen und ihre Begattungszeit bevorsteht. Nach Humboldt ist zur Zeit der Begattung die Reizbarkeit beim männlichen Frosch in den vorderen Extremitäten stärker als in den hinteren. Die Weibchen besitzen im Allgemeinen größere Erregbarkeit namentlich in den hinteren Extremitäten als die Männchen. Ferner ist die Reizbarkeit jüngerer Frösche größer als der alten. Nach Humboldt kann man endlich die schon herabgestimmte Reizbarkeit von Froschschenkeln durch Eintauchung in Chlorauflösung oder alkalische Auflösungen wieder erhöhen. Manche Flüssigkeiten dagegen, z. B. Arsenik, schwächen oder vernichten die Reizbarkeit, so wie nach Pfaff auch Frösche, die in Wasser von 28° bis 30° R. getödtet worden sind, gar keine Reizbarkeit zeigen.

Gleich zu Anfang dieses Artikels ist gesagt worden, daß die ersten Beobachtungen galvanischer Wirkungen an präparirten Fröschen gemacht worden sind, und es ist S. 474 angegeben worden, wie man zu diesen Versuchen Froschschenkel zuzubereiten habe. Die Versuche an Froschschenkeln haben viele Physiker beschäftigt und sind sehr mannigfaltig auf belehrende Weise abgeändert worden. Bei diesen Versuchen hat man im Allgemeinen gefunden, daß je mehre Versuche mit demselben Präparate angestellt worden, desto mehr die Reizbarkeit desselben herabgesetzt erscheint. Doch kann die herabgegangene Reizbarkeit durch Anwendung sehr kräftiger Erreger allmählig wieder erhöht werden; nach Einwirkung solcher geben sogar schwächere, die vorher keine Wirkung hervorgebracht hatten, aufs neue Wirkung. Wenn einfache Ketten keine Wirkung mehr hervorbringen, so werden mehre Plattenpaare doch noch mit Erfolg angewendet.

Die Froschschenkelversuche sind, nachdem man aus anderen Wirkungen des Galvanismus die Natur desselben näher erkannt hat, mehr für die Physiologie als die Physik im engeren Sinne von Interesse, daher wird die Anführung der wichtigsten Resultate der Versuche genügen.

Digitized by Google

Anfangs stritt man (vergl. den Anfang dies. Art.), ob stets die Gegenwart zweier Metalle nöthig sei, um die Zuckungen an Froschschenkeln hervorzubringen, oder ob auch schon Ein Metall sie hervorzubringen genüge, ja ob man nicht durch bloße Berührung der Theile des Frosches unter einander Zuckungen bewirken könne. Namentlich durch die Versuche Humboldt's und Ritter's ist die Möglichkeit, daß auch in den beiden letzten Fällen galvanische Zuckungen auftreten können, erwiesen. So unter andern erhielt Humboldt Zuckungen, wenn der Cruralnerv schnell heraus präparirt, dieser sammt der ganzen Extremität auf eine wohlgetrocknete Glasplatte gelegt und mit einem an einem isolirten Griffe von Siegellack befestigten Stücke frischen Muskelfleisches der Cruralnerv und die Schenkelmuskeln berührt wurden. In diesen Fällen muß also ein elektr. Gegensatz zwischen den verschiedenartigen Substanzen der thierischen Theile stattfinden. Die Zuckungen werden bedeutender, wenn in diese nur aus thierischen Theilen bestehenden Ketten Stoffe zwar ebenfalls aus der zweiten Klasse der Elektricitätserreger, aber nicht organischer Natur aufgenommen werden. So erhält man bedeutendere Zuckungen, wenn man die Schulter oder Brust des Froschpräparates mit Seife oder Kleister bestreicht und sodann die Lenden, welche mit dem Rumpfe nur durch ihre Cruralnerven zusammenhängen, in Berührung damit bringt. Alkalische oder saure Flüssigkeiten an die Muskeln oder Nerven gebracht in den Stellen, an welchen die Schließung der Kette geschieht, erhöhen die Wirksamkeit noch mehr. Dafür, daß Zuckungen auch bei Gegenwart eines einzigen Metalles stattfinden können, sind schon oben S. 474 f. Beispiele angeführt worden. Hierher gehören auch die Zuckungen, welche dann stattfinden, wenn man die vom Rückgrade getrennten und frei präparirten Ischiadnerven auf Scheiben von verschiedenen Metallen fallen läßt, so daß sie in rasche Berührung damit kommen. Daß diese Zuckungen nicht Folgen eines mechanischen Reizes sind, sieht man daraus, daß beim Herabfallen auf Glas oder Stein keine Zuckungen eintreten. Diese so wie die Wirkungen bei Ketten, welche nur aus thierischen Theilen bestehen, treten stets nur bei sehr empfindlichen und frisch präparirten Individuen auf.

Die kräftigsten Wirkungen erhält man indeß bei Ketten, welche aus zwei Erregern der ersten Klasse und den thierischen Theilen bestehen. Indem man die Metalle in Gestalt von Blättchen oder Scheiben an die Nerven oder Muskeln bringt, nennt man sie Armaturen und unterscheidet Nerven- und Muskelarmaturen. Das Metall, welches zur Verbindung zweier Armaturen oder einer Armatur und eines unbewaffneten thierischen Theilen dient, heißt der metallische Bogen. Derselbe wird auch Excitator (lat., Erreger) genannt, weil mit ihm die Schließung des Kreises hergestellt und dadurch die Zuckung erregt wird. Die Einbringung des thierischen Theiles in die Kette kann auf mannigfach verschiedene Weise geschehen. Entweder wird mit beiden heterogenen Metallen der Muskel allein, oder der Nerv allein an zwei unterschiedenen Stellen berührt, oder mit dem einen Metalle der Nerv, mit dem anderen der Muskel desselben Schenkels berührt, oder es wird, während die Nerven beider Schenkel noch durch das Rückenmark zusammen-

Digitized by Google

hängen, an den Nerv des einen Schenkels das eine, an den Nerv des anderen Schenkels das andere Metall gebracht, oder eben so an die Muskel beider Schenkel, oder man kann endlich Rückenmark und Nerven in ein Gefäß mit leitender Flüssigkeit tauchen, die Schenkel in ein anderes solches Gefäß, und die Kette zwischen beiden Gefäßen schließen.

Die Zuckungen treten nur ein bei der Schließung und bei der Oeffnung der Kette. Doch hat Marianini beobachtet, daß auch schon bei einer theilweisen Ableitung des Stromes Zuckungen vorkommen. Derselbe tauchte die Enden eines Frosches in zwei Tassen, welche die Pole eines sechspaarigen Tassenapparates enthielten, und als die Zuckungen des Frosches aufgehört hatten, die gewöhnlich einige Zeit dauern, wenn das Thier frisch präparirt ist, bewerkstelligte Marianini eine Nebenschließung zwischen den Polgefäßen durch Eintauchen der Enden eines metallischen Bogens in dieselben — alsbald zuckte der Frosch. Auch erhielt Marianini bei Anwendung eines Tassenapparates von 40 Paaren selbst kleine Schläge, wenn er, während zwei Finger derselben Hand die Polgefäße des Apparates verbanden, eine Nebenschließung zwischen diesen Gefäßen durch einen metallischen Bogen bewerkstelligte.

Daß übrigens auch während des Geschlossenseins der Kette trotz der Ruhe in der die Muskeln verbleiben galvanische Action fortdauert hat schon Ritter und später auch Pfaff durch Versuche dargethan, welche merkwürdige Resultate gegeben haben. Pfaff berichtet in dieser Hinsicht folgendes: „Nach Verschiedenheit der Vertheilung der beiden Metalle an die Muskeln und Nerven, sagt er, wirken die geschlossenen Ketten entweder deprimirend (herabstimmend) oder eraltirend (aufregend) auf die Reizbarkeit. Bringt man ein Froschpräparat in eine geschlossene Kette, wo das posit. Metall, also z. B. Zink, die Nervenarmatur, das negat. Metall, also z. B. Kupfer, die Muskelarmatur bildet, und befindet sich die Erregbarkeit bereits auf derjenigen Stufe, daß die stärkste und alleinige Zuckung im Augenblicke der Schließung erfolgt, so scheint zwar nach geschehener Schließung und augenblicklicher Zuckung alles in Ruhe gekommen zu sein, läßt man aber die Kette eine Zeitlang geschlossen, so zeigt die Froschextremität, verglichen mit einer anderen, die ihrem natürlichen Absterben überlassen war, eine auffallende Verminderung der Reizbarkeit, die um so stärker ist, je länger das Präparat in der geschlossenen Kette gehalten wurde, und meistens kann man selbst die kräftigste Reizbarkeit durch Verweilen des Froschschenkels auch nur eine Viertelstunde hindurch in einer solchen geschlossenen Kette so weit herabstimmen, daß auch die stärksten Reize nicht weiter mehr darauf einwirken. Einen ganz entgegengesetzten Effect zeigt die entgegengesetzte Kette, wenn nämlich das negative Metall, z. B. Kupfer, an den Nerven, das positive, z. B. Zink, an die Muskeln angebracht ist und die Erregbarkeit sich gleichfalls auf derjenigen Stufe befindet, daß die alleinige, oder wenigstens die stärkere Zuckung nicht im Augenblicke der Schließung, sondern der Trennung eintritt. Schließt man in diesem Falle die Kette, so verändert sich, dem äußeren Anscheine nach, gar nichts, hält man aber die Extremität einige Zeitlang in einer

Digitized by Google

solchen geschlossenen Kette, so geht dieselbe aus der Kette mit einer außerordentlich erhöhten Reizbarkeit hervor, so daß im Augenblicke der Oeffnung die Muskeln in den stärksten Tetanus gerathen, der nicht selten einige Secunden, ja wohl gar eine ganze Minute hindurch fortdauert. Man kann durch eine solche geschlossene exaltirende Kette Muskeln, die ganz reizlos geworden waren, gleichsam zu neuem Leben wieder erwecken, und zwar wiederholt, indem man die deprimirende und exaltirende geschlossene Kette mehrmals mit einander abwechseln läßt. Ich habe mich durch viele Versuche überzeugt, daß eine solche exaltirende Kette nicht bloß ein Erhöhungs-, sondern selbst ein Erhaltungsmittel der Reizbarkeit ist, indem Extremitäten, die in solchen Ketten eingeschlossen bleiben, ihre Reizbarkeit länger behalten als solche, die sich selbst überlassen sind. Es ist hierbei merkwürdig, daß gerade die Abwechselung deprimirender und exaltirender Kettenschließungen die Wirksamkeit letzterer noch zu verstärken scheint. So hatte in einem meiner Versuche eine Froschextremität, die in einer geschlossenen Kette aus Silber und Zink längere Zeit gehalten worden war, ihre Reizbarkeit doch endlich so weit verloren, daß beim Oeffnen keine Zuckungen weiter stattfanden. Als der Nerv darauf mit Zink, die Muskeln mit Silber bewaffnet wurden, zeigten sich e der Schließung der Kette noch merkliche Zuckungen, und auch im Augenblicke der Trennung. In dieser geschlossenen Kette wurde die Extremität eine Zeitlang erhalten, dann die Vertheilung der Metalle umgekehrt und die vorige exaltirende Kette wieder hergestellt, die dann schon nach einigen Minuten ihre gewöhnliche Wirksamkeit wieder zeigte, indem bei der Oeffnung der Kette die Muskeln in den stärksten Tetanus geriethen. Diesen Erfolg habe ich mehrmals beobachtet. Es ist ein überraschendes Phänomen, wie diese heftigen tetanischen Krämpfe, die die stärkste Ausspannung der Schwimmhaut und Ausstreckung der Gliedmaßen zur Folge haben, und die, wie bereits bemerkt ist, mehre Secunden hindurch dauern, im Augenblicke der Schließung aufhören, und die Muskeln in Erschlaffung zurücksinken, so daß also die Schließung, statt eine neue Action hervorzubringen, vielmehr die vorhandene aufhebt und einen Ruhestand bewirkt."

Die wichtigeren Resultate der vielen Froschschenkelversuche sind in kurzem folgende. Wenn nur an den Muskeln die Kette geschlossen wird, so treten die Zuckungen wie es scheint durch Vermittelung des im Muskel enthaltenen Nerven ein, zu welchem der Muskel den Strom überleitet. Wenigstens hat Humboldt bemerkt, daß keine Contraction mehr erfolgt, wenn man ein Stück Muskel so präparirt, daß durchaus kein größerer Nerv mehr in ihm sichtbar ist. Im Allgemeinen ist stets die bei der Trennung der Kette stattfindende Contraction stärker als die bei der Schließung eintretende. Wenn man die Armirungen an zwei verschiedenen Stellen desselben Nerven anbringt, oder die eine Armirung mit einem Nerven, die andere mit einem zu diesem Nerven gehörigen Muskel in Verbindung setzt, so ist die Contraction desto stärker, je länger das in der Kette befindliche Nervenstück ist. Man erhält ferner eine größere Wirkung, wenn das posit. Metall an den Nerven und das negat. an den Muskel gebracht wird, als umgekehrt. Nach

Digitized by Google

Pfaff ist es dagegen gleichgültig, wenn beide im elektromotorischen Gegensatze stehenden Metalle an denselben Nerven angebracht werden, welches ob das negat. oder posit. dem Schenkel näher liegt. Ist das posit. Metall mit dem Nerven, das neg. mit dem Muskel verbunden, so ist die Contraction bei der Trennung schwächer als die bei der Schließung, das umgekehrte findet bei umgekehrter Anordnung der Kette statt. Bei der vorigen Anordnung, wo posit. Metall und Nerv, negat. Metall und Muskel verbunden sind, tritt stärkere Zuckung ein, wenn die negative Armatur eher mit dem Muskel in Berührung gesetzt wird, als man sie in metallische Verbindung mit der posit. Armatur bringt. Auch ist bei Armirung des Nerven mit einem Metall die Zuckung stärker, wenn mit einem Bogen aus einem anderen Metalle von einer anderen Stelle des Nerven zur Armatur, als wenn umgekehrt geschlossen wird. Je größer die Berührungsfläche der Armatur mit dem Muskel ist, desto größer ist auch die Wirkung, wogegen die Größe der Berührungsfläche zwischen Nerv und Armatur nicht von merklichem Einflusse zu sein scheint. Die Wirkungen fallen stärker aus, wenn die Armaturen sich mit Spitzen oder scharfen Rändern als wenn sie sich mit breiten Flächen berühren, ferner auch, wenn, sobald beide Armaturen durch ein drittes Metall verbunden werden, dieses dritte Metall die Armaturen in einer Kante, als wenn es sie in einer breiten Fläche berührt. Nach Humboldt wird die Wirkung auch durch eine leise Erschütterung der Armaturen unter einander befördert. Während des Geschlossenseins der Kette finden keine Contractionen statt, es erfolgen aber dergleichen, wenn der Nerv so gegen sich selbst zurückgebogen wird, daß er sich in neuen Punkten berührt. Erman hat Beobachtungen an Combinationen zweier Froschpräparate angestellt. Liegen die Nerven des einen Präparates an dem posit., die des anderen an dem negat. Metalle, so bewirkt ein posit. Ableiter an dem posit. armirten Nerven eine Schließungszuckung, dagegen eine negat. Ableitung an dem negat. armirten Nerven eine Trennungszuckung. Liegen bei zwei Präparaten die Metalle an den Nerven und schließen die Muskeln durch ununterbrochene Berührung die Kette, so fällt die Schließungszuckung auf den Schenkel, dessen Nerv positiv, und die Trennungszuckung auf den Muskel, dessen Nerv negativ armirt ist. Werden dagegen die Muskeln unmittelbar von den Metallen berührt, und schließen die Nerven die Kette, so fällt die Schließungszuckung auf den negativ armirten, die Trennungszuckung auf den positiv armirten Muskel. *) Ist ferner der Nerv des einen Präparates positiv, der Muskel des anderen negativ armirt,

*) Dieß hat indeß Gültigkeit nur dann, wenn die Froschpräparate keinen hohen Grad der Reizbarkeit im Verhältniß zur Stärke der angewendeten Kette besitzen. Nach Ritter erfolgen die gerade entgegengesetzten Resultate, wenn die Reizbarkeit des Frosches sehr groß ist und nicht durch eine sehr große Schwäche der wirkenden Kette ausgeglichen wird, oder wenn umgekehrt eine sehr starke Kette nicht durch eine verhältnißmäßig schwache Reizbarkeit des Frosches compensirt wird.

Digitized by Google

und wird die Kette durch Berührung des Muskels des ersten und des Nervs des zweiten Präparates geschlossen, so treten an beiden Muskeln Schließungscontractionen auf. Beide Muskeln dagegen erhalten Trennungszuckungen, wenn der Muskel des einen Präparates positiv, der Nerv des anderen negativ armirt ist und die Kette durch Berührung des unarmirten Nerves und des unarmirten Muskels geschlossen wird. Sind endlich zwei Präparate so zusammengestellt, daß vom Nerven des einen zum Nerven des anderen das leitende Verbindungsglied (z. B. ein feuchter Leiter), welches den Kreis schließt, unterhalb der heterogenen Metalle sich befindet, und oberhalb der Muskeln, so folgt, wie in den gewöhnlichen Fällen, die Schließungscontraction an dem Nerven, der mit dem posit. Metalle belegt ist, gerade als wäre die leitende Verbindung von Muskel zu Muskel angebracht, nur ist Alles schwächer. Liegen hingegen die beiden Metalle an dem Nerven unterhalb des Leiters, der von einem Nerven zum anderen die Kette schließt, dann ist Alles umgekehrt, indem die stärkere Schließungszuckung auf die Seite des negativ armirten Nervs fällt.

Nach Humboldt's Beobachtungen kann der Nerv eines Frosches der Länge nach zerfleischt sein, es tritt dennoch ungeschwächt die galvanische Wirkung ein, wenn nur noch ein einziges Fäserchen übrig geblieben ist, welches die Armatur mit dem Muskel verbindet.

Mehre Physiker haben auch Versuche über die galvanische Reizbarkeit zerschnittener und unterbundener Nerven angestellt. Nach Ritter verhielt sich ein gut unterbundener Nerv ganz eben so in jeder Hinsicht, wie ein durchschnittener. Die Wirkung der Unterbindung dauert sogar noch fort, wenn das Band nach vorher geschehener Unterbindung wieder abgenommen wird. Wenn man einen Nerven durchschneidet, und dann das abgeschnittene Ende mit dem anderen in unmittelbare Berührung bringt, so erfolgt, wenn beide Armaturen am abgeschnittenen Stücke des Nerven angebracht sind, keine Zuckung, dieselbe tritt dagegen ungeschwächt ein, wenn der abgeschnittene Theil des Nerven mit der einen Armatur, der Schenkel mit der anderen versehen ist. Statt des abgeschnittenen Nervenendes kann man sich nach Ritter auch eines Stückes nassen Schwammes bedienen, woraus folgte, daß das abgeschnittene Nervenende stets nur als feuchter Zuleiter wirke.

Mehre ausgezeichnete Physiker (Humboldt, Pfaff u. a.) haben eine merkwürdige Erscheinung beobachtet. Wird nämlich der Nerv dicht vor seinem Eintritt in den Muskel abgeschnitten oder unterbunden, so ist es nicht möglich, Zuckungen hervorzubringen; damit diese eintreten, muß stets ein Theil des Nervs noch frei aus dem Muskel herausragen.

Kemp hat neuerdings ein (schon Ritter bekanntes) Verfahren näher angegeben, sich selbst in den Kreis einer starken galvanischen Batterie zu versetzen, um die continuirliche Strömungswirkung derselben zu erfahren, ohne daß man bei der Schließung oder Oeffnung der Kette einen Schlag erhält. Gesetzt man habe einen vielzelligen Trogapparat. Man faßt in die eine Hand eine metallische Kugel, an der ein Draht befestigt ist, und senkt diesen in die erste Zelle des Trogapparates. In

Digitized by Google

die andere Hand faßt man eine andere Kugel, an der sich zwei von einander abstehende Drähte befinden, senkt den einen dieser Drähte, den wir a nennen wollen, in die zweite Zelle, und läßt jemand den anderen Draht b in die dritte Zelle senken, darauf den Draht a aus der zweiten Zelle heraus holen und in die vierte Zelle bringen, während sich b noch in der dritten Zelle befindet; dann b herausholen und in die fünfte Zelle bringen, u. s. f. Anstatt bei jeder Fortbewegung des Drahtes ein Plattenpaar hinzuzufügen, können auch 2, 4, 6 Plattenpaare auf einmal eingeschoben werden, insofern von dieser Zahl kein deutlicher Schlag wahrgenommen wird. In dieser Weise erlangt man schneller die erforderliche Intensität der Wirkung. Um den Schlag bei Oeffnung der Kette zu vermeiden, geht man auf dieselbe Weise wieder zurück.

Zum Beweise, in welchen Entfernungen die physiologischen, so wie die chemischen Wirkungen einer Voltaschen Säule noch auftreten, führt Pfaff folgende interessante Versuche an.

Erman wählte zu seinen Versuchen eine Stelle in der Havel bei Potsdam, wo sich der Strom in eine breite seeartige Wasserfläche ergießt. Auf einem Nachen, der weit hinaus im Strome durch Pfosten unbeweglich erhalten wurde, errichtete er eine Zink-Silbersäule von 100 Schichtungen. Von dem einen Pole hing ein Draht in das Wasser. Zum entgegengesetzten Pole gehörte ein Draht, der in einer Länge von 124½ Fuß über dem Wasserspiegel und parallel mit demselben ausgespannt und an einem Pfosten von gut isolirendem Holze befestigt war. Dieser Draht war mit dem Pole der Säule vermittelst eines Gasapparates verbunden. Im Augenblicke als das abgewendete Ende des Drahtes den Wasserspiegel durch einen angebrachten metallischen Zuleiter berührte, ging in einem Nu die Wasserzersetzung von statten, und zwar gerade mit derselben Energie, als wenn der Gasapparat unmittelbar von Pol zu Pol angebracht worden wäre, so daß sich die Wirkung vollkommen gleich blieb, der schließende Bogen mochte eine Ausdehnung von 1½ Fuß oder von 249 Fuß haben, wovon überdieß die Hälfte eine ungeheure Menge von unisolirtem Wasser war. Zog man den Draht vom unteren Pole aus dem Wasser heraus, so hörte ebenfalls alle Wasserzersetzung auf; hielt man mit der einen Hand das Ende des langen ausgespannten Polardrahtes, während man mit der anderen irgend einen Punkt der großen Wasserfläche berührte, so bekam man eine Erschütterung beinahe eben so stark, als hätte man die Pole durch gemeinschaftliche Berührung mit beiden Händen entladen. Das Nämliche fand statt, wenn das Ende des langen Polardrahtes ins Wasser hing und man 129 Fuß davon den Draht des entgegengesetzten Pols in die eine Hand nahm und mit der anderen die Oberfläche des Wassers berührte. Hing das Ende des langen Drahtes ins Wasser und wurde der entgegengesetzte Polardraht aus dem Wasser gezogen, so gab das Elektrometer, welches man an das Ende des langen Drahtes oder an das darunter stehende Wasser applicirte, eine sehr starke positive Divergenz, die in einem Umkreise von 3 bis 4 Fuß um diesen Polardraht immer schwächer wurde und in einer Entfernung von 6 Fuß

Digitized by Google

Radius gänzlich aufhörte. Alles verhielt sich unter gleichen Umständen auf die entgegengesetzte Weise am negativen Pole. Hingen beide Pole ins Wasser, so zeigte das Elektrometer nirgend eine Spur von Divergenz. An das isolirte Ende des 124½ Fuß langen Drahtes wurde nun ein Draht von beinahe 100 Fuß geknüpft. Dieser war auf einer Rolle aufgewunden. Erman ruderte dann in einem Nachen fort, während er den Draht abwickelte. In welcher Richtung er auch fuhr, überall wurde ein ganz unversehrter Frosch, den er, indem er sich selbst isolirt hatte, so hielt, daß seine Hinterfüße den Draht berührten, in die heftigsten Zuckungen versetzt, sobald der Kopf oder die Vorderfüße an die Oberfläche des Wassers gebracht wurden. Aber auch ein einfaches Element von Zink und Silber war im Stande, durch diesen mächtig langen Bogen das Präparat in die heftigsten Zuckungen zu versetzen. Die Fische der Havel schienen stets außer dem Kreise zu bleiben, wo das Elektrometer auch afficirt wurde, zeigten aber bei wirklicher Entladung keine Spur eines empfundenen Reizes. Gasentbindung und Zusammenfallen des Elektrometers waren stets gleichzeitig im Augenblicke der Schließung.

Basse in Hameln hat die Fortleitung noch weiter durch große Strecken der Weser und des feuchten Erdbodens getrieben. Als er jeden Pol mit einem Drahte von 4000 Fuß Länge verband, so zeigten sich im Augenblicke der Schließung der beiden äußersten Enden durch gut ausgeglühte Holzkohlen oder durch ein Goldblättchen lebhafte Funken. In der gefrornen Weser öffnete er einige Schritte vom Ufer das Eis, stellte seine Säule neben die Oeffnung und verband den Draht des negat. Pols mit der Weser; an dem entgegengesetzten Ufer des Stromes in einer Entfernung von 500 Fuß vom Standorte der Säule öffnete er das Eis abermals, zog einen isolirten Eisendraht vom posit. Pole der Säule quer über die Weser bis an diese Oeffnung, stellte sich auf ein Isolatorium, nahm die Endspitze des posit. Poles der Säule in den Mund und berührte mit der Hand das Wasser der Weser, worauf er eine augenblickliche Erschütterung an der Zunge und in den Fingerspitzen, einen sauren metallischen Geschmack und Blitze vor beiden Augen verspürte. Wurde eine zinnerne Schale unmittelbar auf das Wasser in die Oeffnung gesetzt, so konnten durch ein am Ende des posit. Drahtes angehängtes Goldblättchen Funken entlockt werden. Ja selbst durch eine Strecke von 4000 Fuß der Weser und einen auf hölzernen, in Löcher des Eises eingelassenen Pfosten isolirten Draht pflanzte sich die Wirkung der Säule ungestört fort. Als der Versuch auf einer Insel der Weser bei offenem Wasser angestellt wurde, war die Vorrichtung getroffen, daß die galvanische Leitung ihren Weg theils mit dem Strome, theils gegen den Strom durch eine Strecke von 1500 Fuß nehmen mußte. Ja als Basse durch eine Strecke von 200 Fuß des Erdbodens von einem Brunnen entfernt war, in dessen Wasser der negat. Pol durch einen Draht hineinreichte, empfand er lebhafte Erschütterungen, als er an dem posit. Polardrahte, der bis zu dieser Entfernung isolirt fortgeführt war, die Kette schloß. Als Basse von dem einen Pol aus einen isolirten Eisendraht von 2000 Fuß Länge

Digitized by Google

über eine Wiese hinführte, einen Eisendraht von dem anderen Pole in das nasse Erdreich leitete, und da, wo sich der erste Polardraht endigte, gleichfalls einen Eisendraht in das Erdreich versenkte und die Enden dieser Drähte in zwei isolirte zinnerne mit Kochsalzauflösung gefüllte Schalen gehen ließ, erhielt er lebhafte Erschütterungen, als er mit seinen Händen durch Eintauchen in beide Schüsseln die Kette schloß.

Baumgartner gibt folgende Vorschriften zu Herstellung eines Voltaschen Apparates, der bloß zum Behufe physiologischer Wirkungen gebraucht wird. Ein solcher Apparat bekommt am besten die Gestalt einer gemeinen stehenden Säule, bei welcher die Tuchlappen mit einer mäßigen Salmiaklösung oder mit einer Lösung von Kochsalz in Essig getränkt und hierauf so weit ausgedrückt werden, daß sie bei dem Drucke, dem sie unterliegen, keine Flüssigkeit mehr fahren lassen. Die Anzahl der Platten richtet sich natürlich nach dem jedesmaligen Bedürfnisse. Bei Einwirkung auf empfindliche Organe, wie z. B. auf das Ohr oder das Auge, soll man mit nicht viel mehr als mit 4 bis 6 Plattenpaaren den Anfang machen. Diese sind hinreichend groß, wenn sie 1 Zoll im Durchmesser haben. Die Zinkplatten sollen wenigstens $\frac{1}{2}$ bis 1 Linie dick sein, weil sie schnell consumirt werden; die Kupferplatten können aus gemeinem Deckblech geschnitten werden; erstere müssen stets blank gescheuert sein, letztere müssen nur da, wo sie von Zink berührt werden, metallisch rein sein, an den übrigen Stellen ist ein schwacher Oxydüberzug nicht schädlich, ja in manchem Falle sogar nützlich. Es ist gut, wenn jedes Plattenpaar zusammengelöthet ist. Man stellt sie in ein eigens eingerichtetes Postament aus einer Basis und drei verticalen Glasstäben, das am besten so eingerichtet ist, wie Fig. 208. zeigt und aus 2 Metallringen a und b besteht, die durch Metallstängelchen, über welche Glasröhren gesteckt sind, mit einander verbunden werden. Dieses Gestell kann man in eine Blechbüchse A (Fig. 209.) stellen, so daß der Ring a auf deren Boden fest aufsteht, und daher auch die unterste Platte der Säule mit demselben communicirt, während durch den Deckel B ein Glasrohr C geht, in welches eine metallene Schraubenmutter eingekittet ist. In diese Mutter paßt die Schraubenspindel, die nach oben in einen runden Knopf, nach unten in eine flache Metallscheibe E ausgeht. Wird der Deckel aufgesetzt und durch eine Verreibung festgemacht, so kann man mittelst des Knopfes D die Schraube umdrehen, bis die Scheibe E die oberste Platte der in der Büchse befindlichen Säule berührt, und daher der Knopf D einen Pol derselben vorstellt, während der Untertheil der Büchse ihr zweiter Pol ist. Eine solche Säule kann leicht im thätigen Zustande von einem Orte in den andern übergetragen und selbst von solchen gebraucht werden, die mit ihrer inneren Einrichtung nicht genug bekannt sind. Sie bleibt mehre Tage thätig.

Von den Anwendungen des Galvanismus ist zum Theil schon im Vorhergehenden die Rede gewesen. Hier sind namentlich noch die medicinischen Anwendungen in Erwähnung zu bringen. John Mansford hat die einfache Kette gegen die Epilepsie angewendet. Ueber seine Methode berichtet Pfaff folgendes: John Mansford ist auf diese Anwendung

Digitized by Google

durch theoretische Ansichten über die Natur der Epilepsie gekommen und durch den Vorgang bei den Muskelbewegungen geleitet worden. Ihm schien nämlich bei der Heilung dieser Krankheit alles darauf anzukommen, daß die krankhafte Anhäufung des bewegenden Principes, welches als die nächste Ursache dieser Krankheit anzusehen sei, verhütet und beseitigt werde. Dieses geschehe aber am sichersten dadurch, daß der negat. Pol so nahe als möglich an dem Gehirne, und der positive an irgend einem entfernten Theile des Körpers angebracht werde und zwar so, daß sie fortdauernd wirken können, wozu sich die einfache Kette vorzüglich eignet. Zu dem Ende wird die Oberhaut von der Größe eines Sechspencestücks (etwa eines Zweigroschenstücks) an dem Nacken so nahe als möglich an der Wurzel der Haare mittelst eines kleinen Zugpflasters entfernt, und ein gleich großer Theil derselben in der Höhlung des Kniees und an seiner Innenseite; auf die Wunde am Nacken wird eine Silberplatte je nach dem Alter des Kranken von der Größe eines Sechspencestücks bis zu der einer halben Krone (etwa eines Viergroschenstücks) gelegt, an ihrem hinteren Theile wird ein kleiner Henkel, und an ihrem unteren Rande in einer Richtung mit dem Henkel ein kleiner Haken angebracht, an welchem der Verbindungsdraht zwischen beiden Platten befestigt ist. Dieser Draht läuft den Rücken herab, bis er einen Gurt von Leder erreicht, der rings herum an die Weste angeknöpft ist, er folgt alsdann dem Gurt, an dem er befestigt wird, bis er an der Schamgegend auf derjenigen Seite anlangt, wo man ihn zu gebrauchen wünscht, wird dann längs der Innenseite des Schenkels herabgeführt und an die Zinkplatte auf die nämliche Art, wie oben an die Silberplatte befestigt. Bei der Application des Apparates sind noch zwei wesentliche Stücke erforderlich, nämlich ein Stück Schwamm und ein Stück Fleisch, welches von allem Fette und Zellgewebe befreit ist, und welche zwischen die Platten und die entblößte Hautstelle gebracht werden, weil eine unmittelbare Application der Metallplatten nicht ertragen werden könnte. Da die Wunde, auf welche der negat. Pol (die Silberplatte) wirkt, stets hinreichende Feuchtigkeit absondert, so wird der Schwamm immer davon getränkt bleiben und eine hinlängliche Leitung gewähren; da aber die Wunde, auf welche der Zinkpol wirkt, nicht dieselbe Absonderung gewährt, so unterhält ein solches Stück Muskelfleisch eine fortdauernde angemessene Leitung. Zuerst wird ein Stück nassen Schwammes von der Größe der Wunde am Nacken auf dieselbe gelegt, über dieses ein größeres feuchtes Stück Schwamm von der nämlichen Größe, wie die Metallplatte, und zunächst auf dieses die Platte selbst, welche durch drei Streifen Heftpflaster, einen durch den Henkel auf ihrem Rücken gezogenen, außerdem durch einen oberhalb und einen unterhalb desselben, in ihrer Lage befestigt wird. Die Zinkplatte wird auf die nämliche Weise befestigt, allein statt der zweiten Schwammlage wird auf die erste das erwähnte Stück Fleisch von der Größe der Platte und darauf die Platte selbst gebracht. Hat der Draht, welcher den Rücken herabläuft, eine hinlängliche Länge, damit er nicht ziehen kann, so liegt der Apparat auf diese Weise sehr sicher. Man läßt ihn 12 bis höchstens 20 Stunden liegen, die Wunden müssen rein gehalten

Digitized by Google

und das dicke Oxyd, womit sich die Zinkplatte überzieht, weggeschafft werden, weßwegen es, um den Apparat stets in möglichst gleicher Wirksamkeit zu erhalten, am besten ist, ihn täglich zweimal zu wechseln. Eine Hauptvorsicht, die man nicht aus den Augen verlieren darf, ist, daß die Oxydation des Leitungsdrahtes an den Stellen, wo er mit den Haken der Platten verbunden ist, verhindert werde, weil schon die dünnste Oxydschicht die galvanische Action aufhebt. Ketten statt des Leitungsdrahtes, den man zu aller Sicherheit dreifach nehmen kann, sind nicht zu gebrauchen, weil die Gelenke nicht genau genug an einander stoßen, um die schwache Action fortzuleiten. Die beiderlei Wunden bieten außer dem oben Angeführten noch die merkwürdige Verschiedenheit dar, daß die im Nacken die Neigung hat, schnell zuzuheilen, wenn der Druck entfernt oder vermindert wird, in welchem Falle man dann durch Betupfen mit trockenem Aetzkali den schicklichen Zustand derselben leicht wieder herstellt, während die untere Wunde eine Neigung hat reizbar zu werden und sich auszubreiten, zu dessen Verhütung man ihren Rand durch kleine Streifen Pflaster schützt, welche man in Form eines Sterns vom Mittelpunkte nach außer legt, so daß in der Mitte eine kleine Oeffnung bleibt. Der Gebrauch dieses Mittels muß öfters mehre Wochen fortgesetzt werden. Mansford führt einige sehr auffallende Fälle von Heilung an, auch kenne ich einzelne glückliche Curen anderer Aerzte, doch rechne man in einer Krankheit, welche nicht in allen Fällen dieselbe Ursache hat, nicht sicher auf dieses Mittel.“

Die galvanische Elektricität ist in allen denjenigen Fällen zu Heilungen angewendet worden, in denen man sich auch der Reibungselektricität bedient hat, und der ganze Unterschied soll nur in der Continuität der Wirkung bei der galvan. Elektr. bestehen. Vergl. d. Art. Elektricität und Säule, Volta'sche.

Einzelne Wirkungsarten des Galvanismus sind in besonderen Artikeln abgehandelt, als: Elektromagnetismus, Metallfällungen; auch vergl. man die Art. Multiplicator, Leiter, Spannungsreihe u. a.

Die Geschichte des Galvanismus ist von Trommsdorf bearbeitet worden, so wie von Reinhold nach Sue, Leipzig 1803. Die Lehre vom Galvanismus ist besonders abgehandelt von Ohm: Die galvanische Kette, mathem. bearb. Berl. 1827; von Fechner: Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie, Leipz. 1829; von demselben: Maßbestimmungen über die galvan. Kette, Leipz. 1831. Auch von Davy, Ritter, Pohl, Pfaff sind ausgezeichnete hierher gehörige Schriften.

Gase heißen alle diejenigen ausdehnsam flüssigen Körper, welche in gewissen Grenzen sowohl bedeutende Temperaturverminderung als auch Zusammendrückung ertragen können, ohne dadurch ihren Aggregationszustand zu verlieren. Luft wird vorzugsweise dasjenige Gasgemenge genannt, welches die Erde umgibt, die Atmosphäre bildet und daher auch atmosphärische Luft heißt, weil eigentlich jedes Gas eine Luftart ist. Von den Dämpfen unterscheiden sich die Gase hiernach dadurch, daß

Digitized by Google

jene durch jede Temperaturverminderung, so wie durch jeden auf sie ausgeübten Druck zum Theil in tropfbar flüssige Körper sich umwandeln. Von den tropfbar flüssigen Körpern unterscheiden sich die Gase, so wie alle gasförmigen Körper (Dämpfe, Dünste), durch den Umstand, daß jene in ihren Bestandtheilen noch einen Zusammenhang (Cohäsion) so wie eine Anhängung (Adhäsion) an sie berührende feste Körper zeigen, welcher ihrer unbeschränkten Ausdehnung hinderlich ist, auch nur nach Unten und seitwärts sich auszudehnen streben (vermöge ihrer sie nach Unten drängenden Schwere), während die gasförmigen Körper, so weit die sie einschließenden Körper nur erlauben, sich allseitig wie es scheint ins Unendliche auszudehnen streben. In Gefäßen nehmen daher gasförmige Körper nicht wie tropfbar flüssige eine horizontale Oberfläche an.

Einige Physiker, z. B. Berzelius, nennen jeden luftförmigen Körper Gas, beschließen daher auch die von uns Dämpfe genannten Körper unter die Gase. Da man gefunden hat, daß auch die früher für permanent gehaltenen Gase, d. h. für nicht in tropfbar flüssige verwandelbaren, durch bedeutend hohe Druck- und Kältegrade als tropfbare Flüssigkeiten dargestellt werden können, bei einem großen Theile der Gase dieß wenigstens in Versuchen gelungen ist, so unterscheidet Berzelius a) Coercible Gase, welche bei dem gewöhnlichen Druck und gewöhnlicher Temperatur der Luft ihre Gasform behalten, aber die bei einem Drucke, der wenigstens drei Atmosphären entsprechen muß, oder bei einer Abkühlung, die dem Gefrierpunkte des Queckſilbers sich nähert oder noch unter demselben ist (— wie man sieht ganz willkührliche Annahmen —), sich verdichten lassen. b) Unbeständige Gase, die durch Kochen von Körpern, welche bei dem gewöhnlichen Grade der Temperatur und dem gewöhnlichen Drucke der Luft fest oder tropfbar flüssig sind, z. B. Aether, Alkohol, Wasser u. a., gebildet werden. So lange diese Körper in einer Temperatur erhalten werden, welche ihren Siedepunkt übersteigt, so behalten sie die Durchsichtigkeit, Elasticität und alle Eigenschaften eines Gases; sobald sie aber einen kalten Körper berühren, theilen sie diesem ihre (zu Herstellung ihres luftförmigen Zustandes) gebundene Wärme mit, erwärmen denselben und das Gas sammelt sich nun um ihn in flüssigen Tropfen, oder schließt in fester Gestalt an ihm an. Wir haben diese luftförmigen Körper Dämpfe, dem Sprachgebrauche folgend, genannt (s. d. Art.). Berzelius aber sagt, dieß sei unrichtig, und braucht Dampf und Dunst gleichbedeutend. Er sagt nämlich: Kommt ein solches Gas (welche er unbeständige Gase, wir Dampf nennen) an die freie Luft, so wird ihm seine Wärme von dieser entzogen, und in jedem Punkte derselben ein kleiner Theil davon abgesetzt, so daß die Luft davon undurchsichtig wird und gleichsam eine Art Nebel bildet. In diesem Zustande ist es aber nicht mehr Gas, sondern bildet bloß feste oder flüssige in der Luft schwimmende Theilchen, die sich noch nicht haben ansammeln können, und erhält dann den Namen Dampf oder Dunst.

Die Gase sind durchsichtig, flüssig und ausdehnsam (expansibel, elastisch). Daß sie flüssig sind, sieht man an der Art ihrer Bewegung, indem sie, ohne daß eine Trennung ihrer Theile vor sich geht, sich aus-

Digitized by Google

breiten; an der atmosphärischen Luft tritt die Bewegung im Zuge und heftiger in Wind und Sturm auf. Die Elasticität der Gase (und Dämpfe) ist anderer Art als diejenige der festen Körper, z. B. des Kautschuks, des Elfenbeins u. s. w., indem sie nicht in einem Zurückgehen in die eigenthümliche Form nach gewaltsamem Herausbringen aus derselben besteht, sondern, da die Gase überhaupt keine eigenthümliche Form haben, nur darin besteht, daß sie überhaupt sich weiter auszudehnen streben, und zwar ist die Kraft, mit der sie sich auszubreiten suchen, um so größer, in ein je geringeres Volumen eine gewisse Quantität Gas zusammengedrängt ist. Vergl. d. Art. Dampf.

Daß die Gase bei ihren besonderen Eigenschaften dennoch Körper sind, sieht man daraus, daß sie Schwere besitzen, alles aber was Schwere besitzt, ist körperlich. Die Schwere der Gase sieht man am auffallendsten an der Schwere der Luft. S. d. Art. Atmosphäre. Die Gasarten haben überdieß ein sehr verschiedenes Gewicht, einige sind leichter, andere schwerer als die atmosphärische Luft. Oberflächlich kann man sich hiervon überzeugen, daß, wenn man ein offenes Gefäß mit kohlensaurem Gas und ein anderes mit Wasserstoffgas füllt und beide der atmosphärischen Luft aussetzt und nach kurzer Zeit den Inhalt beider Gefäße untersucht, das Wasserstoffgas verschwunden, das kohlensaure Gas dagegen noch gegenwärtig ist. Weil nämlich das Wasserstoff leichter als atmosphärische Luft ist, wird es von dieser in das Gefäß eindringend vertrieben, während das kohlens. Gas, schwerer als Luft, allmählig mit derselben sich vermischt. S. d. Art. Gewicht u. Dichte.

Es wurde schon oben bemerkt, daß es in neuerer Zeit gelungen sei, einen Theil der früher für beständig gehaltenen Gasarten so zu comprimiren, daß sie in eine tropfbare Flüssigkeit übergehen. Schon früher waren Verwandlungen von Gasen in tropfbare Flüssigkeiten beobachtet worden, So will Guyton-Morveau Ammoniakgas durch eine Kälte von — 48° C. tropfbar flüssig gemacht haben. Monge und Clouet sollen schwefelichtsaures Gas durch Kälte und mechanischen Druck in flüssiger Form dargestellt haben. Auf unzweifelhafte Weise wurde aber die Möglichkeit, Gase tropfbar flüssig zu machen, erst im Jahre 1823 durch Faraday dargethan, indem er nachstehende Gasarten bei der angegebenen Temperatur und unter dem beistehenden nach Atmosphären berechneten Drucke in tropfbare Flüssigkeiten verwandelte.

Schwefelichtsaures Gas	bei 7°,2 C.	unter	3,0 Atmosphäre.
Schwefelwasserstoffgas	" 10°,0 C.	"	17,0 "
Kohlensaures Gas	" 0°,0 C.	"	36,0 "
Stickoxyd	" 7°,2 C.	"	50,0 "
Cyanogen	" 7°,2 C.	"	3,7 "
Ammoniak	" 10°,0 C.	"	6,5 "
Salzsaures Gas	" 10°,0 C.	"	50,0 "
Chlor	" 15°,5 C.	"	4,0 "

Faraday verwandelte auch das Chloroxydulgas in tropfbare Flüssigkeit, konnte aber den hierzu nöthigen Druck nicht bestimmen, weil der angewendete Apparat zersprang. Wasserstoffgas, Sauerstoffgas, Fluorboron, Fluorsilicium und Phosphorwasserstoffgas konnte Faraday

Digitized by Google

nicht so weit zusammenpressen, daß sie tropfbar wurden. Perkins hat einen Apparat beschrieben, mit dem er einen Druck bis zu 2000 Atmosphären erhalten kann, und will bei einem Druck von 1200 Atmosphären die atmosphärische Luft in tropfbarer Gestalt erhalten haben. Auch Kohlenwasserstoffgas will Perkins in tropfbare Flüssigkeit verwandelt haben; doch sind gegen Perkins Versuche bedeutende Zweifel erhoben worden. Bussy hat gezeigt, daß durch ungewöhnlich hohe Kältegrade zum Theil dieselben Resultate erhalten werden, die Faraday bekommen hat.

Die Gase können, wie schon bemerkt wurde, zusammengedrückt werden, ohne ihre eigenthümliche Aggregationsform zu verlieren und dehnen sich sogleich wieder aus in dem Maße, in welchem der Druck nachläßt. Man kann diese Eigenschaft der Gase leicht durch Versuche nachweisen, am bequemsten an der atmosphärischen Luft. Man blase eine gewöhnliche Schweinsblase nur zum Theil auf und bringe sie so unter die Glocke einer Luftpumpe. So lange die Blase unter dem Drucke der sie umgebenden atmosphärischen Luft bleibt, wird die in ihr eingeschlossene Luft auch dieselbe Dichtigkeit wie die der Atmosphäre haben. Exantlirt man nun aber, d. h. wird mit Hülfe der Pumpe die Luft unter der Glocke verdünnt, so dehnt sich alsbald die Luft in der Blase aus und spannt die Blase auf. Je länger man exantlirt, desto dicker wird die Blase, bis sie endlich, wenn sie den Druck der in ihr sich ausdehnenden Luft, welchem kein hinreichender äußerer Gegendruck entspricht, nicht länger zu ertragen vermag, platzt. Otto v. Guericke verschloß ein gläsernes Gefäß mit einem Hahne, trug es auf eine Höhe und fand nach Oeffnung des Hahns, daß Luft aus demselben strömte, nach dem Herabbringen desselben an den vorigen tieferen Ort drang dagegen Luft in dasselbe wieder ein, woraus er mit Recht folgerte, daß die Elasticität der Luft in der Höhe geringer sei als in der Tiefe und sie daher durch ihr eigenes Gewicht zusammengedrückt werde. Die Luftpumpen, die Compressionspumpen, der Heronsball, der Heronsbrunnen, das Cartesianische Teufelchen, beruhen auf der Elasticität der Luft. Am einfachsten beobachtet man dieselbe, wenn man ein leeres Glas umgekehrt in ein mit Wasser gefülltes senkt. In dem leer genannten Glase befindet sich aber Luft und diese hält das Wasser ab, in das Innere des Glases ungehindert einzudringen; das Wasser dringt aber in das eingesenkte Glas um so tiefer ein, je tiefer man das Glas in dasselbe einsenkt, je größer also der durch das Wasser gegen die Luft ausgeübte Druck ist. Die Luft dehnt sich aus und das Wasser sinkt wieder herab im Glase, je weiter man dasselbe wieder emporzieht. Pfaff theilt die Beschreibung folgender zwei zur Belustigung dienender Apparate mit, welche die wechselnde Elasticität der Luft veranschaulichen. Das eine besteht aus dem gläsernen Ballon A (Fig. 210.) mit dem aufgeschrobenen offenen Gefäße B. In das letztere ist das Röhrchen a eingekittet, welches an beiden Enden offen unten bis nahe an den Boden des Ballons A reicht, oben bis an oder selbst über den Rand des Gefäßes B. Ueber das obere Ende ist das weitere, oben verschlossene Röhrchen bc gestürzt, so daß also die Luft vermittelst des

Digitized by Google

Röhrchens a und der Oeffnung bei c in beiden Gefäßen frei circulirt, wenn beide leer ſind. Wird aber das obere Gefäß B mit Waſſer angefüllt, der Apparat unter eine Campane auf den Teller der Luftpumpe gebracht und abwechſelnd Luft weggenommen oder zugelaſſen, ſo fließt zuerſt die Luft vermöge ihrer Elaſticität aus dem Gefäße A durch das Waſſer in B ab, und weil letzteres ihr den Rückzug verſperrt, ſo füllt ſie nachher abwechſelnd das Gefäß A und B mit Waſſer oder verdünnter Luft. Das zweite Inſtrument (Fig. 211.) beruht auf gleichen Grundſätzen. Auf das mehre Zoll hohe gläſerne Gefäß A wird die 1 bis 1,5 Zoll weite und gleichfalls einige Zoll hohe Glasröhre B bei ef geſchroben. Ein in der durch die Zeichnung angegebenen Richtung gebogenes enges und bei a in eine ſehr feine Spitze ausgezogenes Röhrchen abcd iſt mittelſt einer bei ef befindlichen Fütterung ſo eingekittet, daß es in den Raum des Gefäßes A herabgelaſſen, bei ef feſtgeſchroben werden kann, und auf dieſe Weiſe einen Canal für die aus dem Gefäße A abfließende Luft darbietet. Wird bei d etwas Queckſilber eingegoſſen, welches die untere Mündung des Röhrchens verſperrt und der Apparat unter eine Campane auf die Luftpumpe gebracht, um die Luft aus A wegzunehmen, nachher aber Luft von Außen zuzulaſſen, ſo bildet der Druck derſelben aus der feinen Spitze bei a eine Queckſilberfontaine.

Es drängt ſich die Frage auf: nach welchem Geſetze das Volumen eines Gaſes im Verhältniß zu der das Gas zuſammendrückenden Kraft abnehme oder zunehme? Zuerſt Boyle, dann Mariotte haben durch nähere Unterſuchung dieſes Verhältniſſes das wichtige Geſetz aufgefunden, welches unter dem Namen des Boyleſchen oder Mariotteſchen bekannt iſt. Biot gibt folgende Anweiſung zu Wiederholung des Mariotteſchen Verſuches. Man nehme eine cylindriſche und gekrümmte Glasröhre ABC, Fig. 212., welche an einem Ende C verſchloſſen, an dem anderen offen iſt; gieße etwas Queckſilber hinein, bis es die Horizontallinie DE erreicht, damit die, im kürzeren Schenkel CE eingeſchloſſene Luft weder mehr noch minder gedrückt werde, als die im längeren Schenkel AD enthaltene, welche mit der Atmoſphäre Gemeinſchaft hat. Der letztere Schenkel muß weit länger ſein als der erſtere. Wenn nun ſolchergeſtalt das Queckſilber zu beiden Seiten gleich hoch bis DE ſteht, und die Communication zwiſchen beiden Schenkeln unterbrochen iſt, gieße man durch das Ende A mittelſt eines kleinen Glastrichters abermals eine Quantität Queckſilber hinein, wohl Acht habend, daß keine neue Luft in den Raum CE treten könne. Man wird alsdann bemerken, daß das Queckſilber allmählig nach C zu emporſteigt und ſolchergeſtalt die in CE befindliche Luft verdichtet; allein es wird zu einer weit geringeren Höhe in dieſem, als in dem offenen Schenkel aufſteigen. Beträgt z. B. die Länge von EC 32 Centimeter, und iſt die Luft ſo weit heraufgetrieben, daß ſie nur noch die Hälfte dieſes Raums, d. i. 16 Centimeter einnimmt, wo ſich dann die Queckſilberoberfläche bis F erhebt, ſo ziehe man eine Horizontallinie FG, und man wird finden, daß das Queckſilber im anderen Schenkel über dieſer Linie um eine Länge GH erhöht ſteht, welche

Digitized by Google

der Barometerhöhe zur Zeit der Beobachtung genau gleich ist. Sonach wird die in dem Raume CF enthaltene Luft durch das Gewicht der auf H lastenden Atmosphäre gedrückt, und noch überdieß durch das Gewicht einer anderen Atmosphäre, das durch die Quecksilbersäule HG vorgestellt wird; denn die beiden gleichen Säulen GD, FE sind für nichts zu rechnen, weil sie, eben wegen ihrer Gleichheit, sich wechselseitig das Gleichgewicht halten. Dieser doppelte auf BC wirkende Druck reducirt also die Luft CE auf die Hälfte ihres Volumens. Gießt man abermals Quecksilber in den längeren Schenkel nach, so wird die in dem kürzeren enthaltene Luft sich noch mehr verdichten, und ist sie aufs Drittheil ihres Volumens reducirt, wobei das Quecksilber in diesem Schenkel bis zur Höhe F' steht, und man zieht die Horizontallinie F'G', so wird man finden, daß das Quecksilber in dem längeren Schenkel über dieser Linie um eine Quantität G'H', welche das Doppelte von GH, d. i. dem Gewicht zweier Atmosphären gleich ist, emporgestiegen ist, was zusammengenommen mit dem Gewicht der äußeren, auf H' lastenden Atmosphäre, in Allem ein Gewicht gibt, gleich dem dreier Atmosphären, die sämmtlich auf der Luft CF' lasten, und dieser dreifache Druck reducirt, wie man sieht, die Luft CE auf das Drittheil des Volumens, welches sie zuvor einnahm. Im Allgemeinen, wie weit man immer den Versuch treiben mag, stets wird man finden, daß das Volumen, auf welches die in dem längeren Schenkel enthaltene Luft reducirt wird, dem Gewicht, womit sie belastet ist, umgekehrt proportional sich verhält. Geht man also von ihrem ursprünglichen Volumen aus, das sie besaß, als sie nur das Gewicht der Atmosphäre, welches durch den gerade bestehenden Barometerstand angedeutet wurde, zu tragen hatte, so wird man zum Voraus bestimmen können, worauf sich dieses Volumen unter jedem anderen gegebenen Drucke reduciren muß, der gleichfalls durch die Totalsumme der drückenden Quecksilbersäule gemessen würde. Man wird jetzt einsehen, warum eine cylindrische Gestalt des Schenkels CE gefordert wurde; deßhalb nämlich, damit gleiche an diesem Schenkel abgemessene Längen auch unter einander gleichen Luftvolumina's entsprächen, was das Gesetz in die Augen fallender und den Versuch leichter in Bezug darauf zu deuten macht. Da es jedoch schwer hält, Röhren zu finden, die dieser Bedingung vollkommen Genüge leisten, so muß man eine Abhülfe deßhalb zu treffen wissen, und dieß geschieht, indem man zuvor den Schenkel CE in Theile von gleicher Capacität abtheilt (s. d. Art. Thermometer) und diese Abtheilungen markirt, worauf man das Luftvolumen in jeder Periode des Versuchs nach der Zahl derselben, die es einnimmt, schätzen kann. Man hat nicht nöthig, dasselbe in Bezug auf den längeren Schenkel zu thun, auch braucht dieser nicht einmal cylindrisch zu sein, weil der verticale Druck einer schweren Flüssigkeit nicht von der Weite des Gefäßes, in dem sie enthalten ist, sondern bloß von der verticalen Höhe der flüssigen Säule abhängt. Nachdem man solchergestalt CE in Theile von gleicher Capacität getheilt hat, braucht man bloß noch an dem Apparat eine verticale Scale anzubringen, um mittelst derselben den Unterschied des Quecksilberniveaus in den beiden

Schenkeln genau zu messen. Auf die einfachste Weise thut man dieß, wenn man die gebogene Röhre ABC an ein Bret befestigt, welches nach Millimetern abgetheilt und mit einem verticalen Schieber versehen ist. Soll der Versuch vollkommen genau ausfallen, so daß die Volumina sich wirklich streng umgekehrt wie die Druckkräfte verhalten, so wird noch die Erfüllung einer wesentlichen Bedingung erfordert, nämlich die in CE eingeschlossene Luft, so wie auch die Röhre CE selbst, muß vollkommen trocken sein, indem der Wasserdunst, der mit dieser Luft vermischt sein oder von den Röhrenwänden ausgehaucht werden könnte, durch den Druck nicht nach denselben Gesetzen zusammengepreßt wird, als die Luft (vergl. oben u. d. Art. Dampf, Dunst); daher die Reinheit der bloß die Luft betreffenden Resultate dadurch gestört werden würde. Um diese Ursache zur Irrung zu vermeiden, muß man zuvörderst die Röhre stark erhitzen, um sie auszutrocknen, worauf man sie mehre Tage mit dem Innern eines Recipienten RR, wie Fig. 213. zeigt, in Verbindung zu bringen hat, der über ganz trocknem Quecksilber steht und unter den man Chlorcalcium oder andere die Feuchtigkeit verschluckende Salze bringt. Glaubt man, daß die im Recipienten und in der Röhre enthaltene Luft gehörig trocken sei, so entfernt man diese Salze, verschließt die untere Mündung des Recipienten mit einer ebenen und mattgeschliffenen Glasplatte, die man unter dem Quecksilber einschiebt, und kehrt nun den Apparat um. Hierbei wird die geringe unter der Glocke zurückgebliebene Menge Quecksilbers in die Röhre fallen und jede Gemeinschaft zwischen den beiden Schenkeln AD, CE verhindern, so daß zu der trocknen im kürzeren Schenkel enthaltenen Luft keine Feuchtigkeit mehr durch den offenen längeren treten kann. Hierauf nimmt man Röhre und Glocke aus einander, mißt die ursprüngliche Differenz im Quecksilberstande beider Röhren und setzt den Versuch auf die angezeigte Weise weiter fort. Bei Anwendung dieser Vorsichtsmaßregeln findet man das von Mariotte ausgesprochene Gesetz bei allen bisher erreichbaren Graden des Drucks bestätigt. Nachdem man solchergestalt das Quecksilber eingefüllt hat, wird man manchmal finden, daß es im längeren Schenkel etwas höher als im kürzeren steht, z. B. im ersteren bei D', im letzteren bei E' Fig. 214. Dann ziehe man die Horizontallinie E'd' und messe den Niveauunterschied D'd', oder, was auf dasselbe hinauskommt, lese ihn an der Scale des Instruments. Diese Differenz addire man zur grade statthabenden Barometerhöhe, dann wird die Summe den Ausdruck für den Totaldruck geben, den die in G'E' eingeschlossene Luft zu ertragen hat. Hiernach wird man das Volumen finden können, welches diese sämmtliche Luft bloß unter dem Druck der Atmosphäre würde haben einnehmen müssen, indem man den Raum C'E' proportional dem Verhältniß beider Druckkräfte vergrößert denkt. Ist dieß anfängliche Volumen einmal bekannt, so wird man den Versuch für alle übrigen Fälle nach oben beschriebener Weise fortführen können.

Man kann nun, wie in dem Vorhergehenden, für die atmosphärische Luft, so auch für jede andere Gasart die Bestätigung des Mariotteschen Gesetzes mittelst des angegebenen Apparates suchen. Statt

Digitized by Google

der atmosphärischen Luft muß aber dann der Recipient R R das zu untersuchende Gas enthalten. Man füllt einen solchen Recipienten mit Gas in folgender Art. Der Recipient wird, während seine obere engere Mündung luftdicht verschlossen ist, mit Queckſilber gefüllt (kommt es nicht darauf, ob das einzufüllende Gas Feuchtigkeit in sich aufnehme, statt dessen mit Waſſer), sodann seine noch offene Mündung (mit einer mattgeschliffenen Glasplatte) bedeckt, der Recipient umgestürzt und mit seiner nur bedeckten Mündung unter Queckſilber gebracht, welches sich in einer Wanne befindet. Man zieht nun die Bedeckung unter dem Queckſilber hinweg, dasselbe wird im Recipienten nicht herabſinken (wo es dann einen leeren Raum über sich ließe) so lange der äußere Luftdruck die im Recipienten enthaltene Queckſilberſäule zu tragen vermag (ſ. Atmosphäre und Barometer). Hierauf bringt man unter dem Queckſilber die vom Entbindungsdrahte ausgehende Leitungsröhre *) mit ihrem Ende in die Mündung des Recipienten, das mit Gewalt aus der Röhre aufſteigende Gas steigt im Recipienten empor und da es nirgend entweichen kann, verdrängt es das Queckſilber von oben herab aus seiner Stelle. Verfährt man nun weiter bei Anstellung des Mariotteſchen Verſuches in der oben angegebenen Art, so erhält man in der Röhre allerdings nicht reines Gas, sondern ein Gemiſch vom Gaſe des Recipienten und der Quantität atmosphäriſcher Luft, welche sich noch in der Röhre befand. Es ließen sich leicht Maßregeln angeben, auch diese Verunreinigung zu vermeiden, allein es ist genug, daß man findet, wie auch für jedes Gemiſch einer Gasart mit atmosphäriſcher Luft das Mariotteſche Geſetz eben so gilt, wie für die atmosphäriſche Luft allein, hieraus folgt, daß es nicht allein für atmosphäriſche Luft, sondern überhaupt für alle Gasarten gelte.

Genau genommen gibt indeß das beſchriebene Verfahren nur, welches das Verhältniß der Volumina zu den Druckkräften sei, so lange diese den Druck der Atmosphäre überſteigen; es ist noch zu unterſuchen ob ein gleiches Verhältniß auch für solche Druckkräfte gelte, welche geringer als die Atmosphäre sind. Dieß auszumitteln, nehme man, nach Dalton, eine an einem Ende verſchloſſene Glasröhre, deren Durchmeſſer nicht über zwei Millimeter hält, theile ſie in Theile von gleicher Capacität und bringe eine kleine Queckſilberſäule hinein. Diese Säule wird, wegen der geringen Weite der Röhre, sich nicht von einander geben, um der eingeſchloſſenen Luft den Austritt zu verſtatten, und hebt man die Röhre vertical in die Höhe, so daß die Säule sich über dieſer Luft befindet, so wird ſie letztere durch ihr Gewicht zuſammendrücken. Kehrt man dagegen die Röhre um, so daß der offene Theil abwärts gekehrt ist, so wird die Queckſilberſäule herabſinken; aber, wenn ihr

*) Auf welche Weiſe die Entbindung der einzelnen Gaſe geſchieht ſ. u. benſ. Bd. I. Fig. 134 auf Taf. IV. iſt ein Gasentbindungsapparat vorgeſtellt, do iſt die Leitungsröhre, wie ſie in das Queckſilber haltende Gefäß unter die Mündung des gleichfalls mit Queckſilber gefüllten Recipienten f reicht, der auf dieſe Weiſe mit Gas gefüllt wird.

Digitized by Google

das richtige Verhältniß gegeben worden ist, nicht aus der Röhre herausfallen, sondern bei einer gewissen Grenze stehen bleiben. Hieraus sieht man, daß die inwendige Luft bei der Ausdehnung von ihrer Spannkraft verloren hat, denn wenn die Quecksilbersäule im Fallen einhält, so rührt dieß daher, daß ihr Gewicht, zusammengenommen mit der Spannkraft der inwendigen Luft, dem Gewicht der Atmosphäre alsdann das Gleichgewicht hält. Man wird also hiernach diese Spannkraft schätzen können, indem man beobachtet, bei welchen Eintheilungen die Quecksilbersäule in den beiden entgegengesetzten Lagen der Röhre stehen bleibt, wenn sie auf der Atmosphäre oder auf der inneren Luft lastet, und man wird finden, daß das in der kleinen Röhre enthaltene Luftvolumen stets dem Gewicht, womit es belastet ist, umgekehrt proportional sich verhält, wie wir das Nämliche auch für Druckgewalten, welche das Gewicht der Atmosphäre überwogen, gefunden hatten. Wollte man diese Volumina mit dem Volumen vergleichen, was die nämliche Luftmasse einnehmen würde, wenn bloß das Gewicht der Atmosphäre auf ihr lastete, so würde man auf eine ganz leichte Weise dazu gelangen, indem man die Röhre in eine horizontale Lage brächte. Dann würde die eingebrachte Quecksilbersäule bloß noch durch die Wände der Röhre getragen werden und weder auf die inwendig enthaltene Luft noch auf die Atmosphäre drücken, und so würde der atmosphärische Druck allein das Volumen der inneren Luft bestimmen. Reducirt man dieß Volumen proportional den Druckkräften, welche für die beiden ersten Fälle stattfanden, wo die kleine Quecksilbersäule nach Innen oder nach Außen lastete, so findet man die Räume wieder, die unter diesen beiden Annahmen von der inwendigen Luft eingenommen wurden.

Mariotte hat auch noch folgenden das von ihm gefundene Gesetz bestätigenden Versuch angestellt. Man nehme eine in Theile von gleicher Capacität getheilte Barometerröhre, fülle sie in einem gewissen Theile ihrer Länge mit Quecksilber an, lasse dieß darin sieden, als wollte man ein Barometer verfertigen, richte die Röhre darauf vertical in die Höhe, so daß das geschlossene Ende unten zu stehen kommt, und beobachte, wie viel die oberhalb des Quecksilbers zurückgebliebene Luft Abtheilungen einnimmt. Zugleicht beobachte man die Barometerhöhe, welche die Größe des atmosphärischen Drucks anzeigt. Alsdann verschließe man die Röhre mit dem Finger oder einem mattgeschliffenen Glase, kehre sie um und tauche sie mit dem offenen Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Bei dieser Bewegung wird die Luft nach dem oberen Ende der Röhre zurücksteigen und wenn man den Finger wegzieht, der die freie Wirkung ihrer Spannkraft hinderte, sich ausdehnen und die innere Quecksilbersäule tiefer sinken machen, als sie in einer oben luftleeren Barometerröhre gesunken sein würde. Endlich, nach mehren Oscillationen, wird die inwendige Säule stehen bleiben, und zwar bei einem solchen Punkte, daß die durch Ausdehnung geschwächte Spannkraft der inneren Luft zusammengenommen mit dem Gewicht der noch in der Röhre bleibenden Quecksilbersäule dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Zufolge dieser Bedingung und des Mariotteschen Gesetzes ist es leicht, die Höhe zu berechnen, bei

Digitized by Google

welcher die Queckſilberſäule ſtehen bleiben muß, und immer wird das Reſultat der Rechnung ſich durch die Beobachtung beſtätigt finden.

Damit das Mariotteſche Geſetz indeß Gültigkeit habe und dieſe im Verſuche ſich zeige, iſt es nöthig, daß während der Dauer eines Verſuches, ſo wie, wenn mehre Verſuche mit einander verglichen werden ſollen, das angewendete Gas dieſelbe Temperatur habe. Denn auch durch jede Temperaturerhöhung erleiden die Gaſe eine Ausdehnung (ſ. d. Art. Ausdehnung). Aendern ſich die auf die Ausdehnung eines Gaſes wirkenden beiden Umſtände: Druck und Temperatur, zugleich ab, ſo müſſen beide Geſetze, das Mariotteſche und dasjenige, nach welchem die Ausdehnung durch Temperatur geſchieht, mit einander in Verbindung geſetzt, bei der Reduction auf einen Normalzuſtand der Temperatur und des Druckes berückſichtigt werden. Der allgemeine Ausdruck des Mariotteſchen Geſetzes für jeden beſtimmten Temperaturzuſtand iſt daher:

Welches auch die Temperatur eines Gaſes ſein mag, ſobald ſie nur ſich gleich bleibt und man die nämliche Maſſe atmoſphäriſcher Luft oder einer anderen Gasart in trockenem Zuſtande ſucceſſiv verſchiedenen Druckgewalten ausſetzt, verhalten ſich ſtets die Volumina, die ſie einnimmt, umgekehrt wie dieſe Druckkräfte. Nennen wir V das Volumen des Gaſes bei dem Drucke P, und v das Volumen deſſelben Gaſes bei dem Drucke p, während die Temperatur ſich gleich bleibt, ſo erhält man nach dem Geſetze in jedem einzelnen Falle die Proportion:

$$V : v = p : P$$

oder es iſt $V = \frac{v\,p}{P}$. Hiernach kann man im Voraus berechnen, welches Volumen V eine Gasart einnehmen werde unter dem Drucke P, wenn dieſelbe unter dem Drucke p ein Volumen v einnimmt.

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß, wenn man z. B. in einer Barometerröhre ein gewiſſes Volumen CH einer Gasart (Fig. 215.) aufgefangen hat, ſo reicht es nicht hin, zu ſagen, daß dieß Gas das Volumen CH einnehme; man muß hinzufügen, welchem Druck es dabei ausgeſetzt war. Dieß läßt ſich zuvörderſt ziemlich oft verſuchsweiſe ausmitteln; man braucht nämlich nur die Röhre in das Queckſilber einzuſenken, bis das innere Niveau H dem äußeren Niveau AB gleicht ſteht. Dann findet ſich die innere Luft nur noch durch den äußern Druck der Atmoſphäre zuſammengepreßt; man wird mithin für das Volumen, welches ſie in der Röhre einnimmt, alle erforderlichen Beſtimmungen haben, wofern man nur zugleich ihre Temperatur und die Höhe BP, die der Queckſilberſtand im nämlichen Augenblick im Barometer hat, kennt, oder auch, man wird dieß Volumen auf einen conſtanten Druck reduciren können, z. B. den von $0^m,76$, indem man es mit dem Verhältniß des gerade beſtehenden atmoſphäriſchen Drucks zu $0^m,76$ multiplicirt. Dieſe Reduction wird dienen, alle beobachteten Volumina auf gleiche Umſtände zurückzuführen. Es können indeß Fälle vorkommen, die kein ſolches erfahrungsmäßiges Zurückführen des

Digitized by Google

inneren Volumens auf den Fall der Niveaugleichheit gestatten, z. B. wenn das Gefäß, in welches die Röhre eintaucht, nicht hinlänglich tief ist. In diesem Falle kommt uns die Rechnung zu Hülfe; denn als Data für dieselbe gibt uns die Beobachtung den Raum CH, den das Gas einnimmt, die Höhe AH des inneren Queckſilbers über dem Niveau des Queckſilbers im Gefäß, und endlich den gerade ſtatthabenden Druck, der durch die Barometerhöhe BP gemeſſen wird. Zieht man AH von dieſer Höhe ab, ſo erhält man in der Differenz BP — AH den Ausdruck für den wahren Druck, dem die inwendige Luft wirklich das Gleichgewicht hält. Hat man alſo das Volumen CH, welches dieſelbe einnimmt, gemeſſen, ſo wird man es durch Berechnung auf jeden anderen Druck, z. B. den conſtanten Druck von $0^m,76$, zurückführen können, wodurch alle Beobachtungen dieſer Art unter einander vergleichbar werden. Bemerken wir wohl, daß bei dieſen Verſuchen keineswegs eine cylindriſche Geſtalt der Röhre CH erfordert wird; es reicht hin, wenn ſie ihrer Länge nach in Theile von gleicher Capacität getheilt iſt und man die Höhe AH mit einem eingetheilten Lineal, oder beſſer noch mittelſt einer gleich eingetheilten, auf ihren Außenwänden verzeichneten Scale mißt.

Wie die Berechnung des Volumens eines Gaſes bei einer beſtimmten Temperatur und einem beſtimmten Druck anzuſtellen ſei, wird am einfachſten durch ein Beiſpiel (nach Biot) einleuchtend gemacht werden können, wobei nach Gay-Luſſac angenommen iſt, daß die Ausdehnung eines Gaſes 0,00375 auf jeden Grad C. betrage (ſ. Ausdehnung). Geſetzt z. B. das Volumen einer Gasmaſſe betrug bei der Temperatur des ſchmelzenden Eiſens und unter dem Druck von $0^m,76$ genau ein Litre. Wie viel beträgt es bei der Temperatur von 10° C., wenn der Druck der nämliche bleibt? Man braucht zu Löſung dieſer Aufgabe nur das urſprüngliche um zehnmal 0,00375 zu vermehren. Das hinzu zu addirende beträgt folglich 0,0375 Litres, und das ganze ausgedehnte Volumen 1,0375 Litres. Jetzt laſſe man auch den Druck ſich abändern. Bringen wir ihn z. B. auf $0^m,38$ von $0^m,76$ herab, ſo werden wir, nach dem Mariotteſchen Geſetze, unſer Volumen von 1,0375 Litres durch den neuen Druck $0^m,38$, dem es ausgeſetzt werden ſoll, zu dividiren und mit demſelben Drucke $0^m,76$, dem es anfangs ausgeſetzt war, zu multipliciren haben, indem bei Gleichheit der Temperatur die Volumina einer und derſelben Gasmaſſe ſich umgekehrt wie die ſie zuſammendrückenden Druckkräfte verhalten. Das Ganze kommt darauf hinaus, unſer Volumen mit dem Bruchverhältniſſe $\frac{0^m,76}{0^m,38}$, welches gleich 2 iſt, zu multipliciren. Das geſuchte Volumen wird mithin 2,0750 Litres betragen, das Doppelte von dem, was es vor Veränderung des Druckes betrug. — Wäre umgekehrt dieß Volumen 2,0750 Litres bei dem Druck $0^m,38$ und der Temperatur 10° gegeben, ſo würde man es leicht auf das urſprüngliche Volumen zurückführen können, das bei 0° Temperatur und unter dem Druck $0^m,76$ von ihm eingenommen werden muß. Man hätte nur gerade das um-

Digitized by Google

gekehrte Verfahren von vorhin einzuschlagen. Indem man das Volumen zuvörderst mit $\frac{0^m,38}{0^m,76}$ multiplicirte, welches 1,0375 Litres gibt, brächte man es auf den neuen Druck $0^m,76$ zurück und dividirte man es alsdann mit 1,0375, welches der Ausdruck für ein durch Steigen der Temperatur von 0° auf 10° ausgedehntes Volumen ist, so erhielte man zum Quotienten 1 Litre, der das Volumen gäbe, welches das Gas ursprünglich bei 0° und unter dem Druck $0^m,76$ einnahm.

Weit ausgedehnte Versuche verschiedener Physiker haben, sowohl indem sie die Gase einem bei weitem höheren, als auch indem sie dieselben einem bei weitem geringeren Drucke aussetzten als der einer Atmosphäre ist, das Boylesche oder Mariottesche Gesetz durchaus bestätigt gefunden. Dasselbe scheint erst dann seine Anwendbarkeit zu verlieren, wenn die Gase unter einem Drucke stehen, bei welchem sie der Veränderung ihres Aggregationszustandes, d. h. der Verwandlung in tropfbare Flüssigkeit, nahe sind.

Eine merkwürdige Beobachtung Döbereiner's scheint einen verschiedenen Aggregationszustand der Gase selbst im Vergleich unter einander anzuzeigen, so also, daß bei demselben Drucke das eine Gas so zu sagen dünner als das andere wäre. Döbereiner bemerkte nämlich gelegentlich, daß Wasserstoffgas durch sehr feine dem Auge kaum bemerkliche Risse einer Campane hindurchdrang, durch welche andere Gase, als atmosphärische Luft, Stickgas, Sauerstoffgas, nicht entwichen.

Die Gase gehen übrigens mit anderen Stoffen und unter einander chemische Verbindungen ein, welche Verbindungen dann theils tropfbar flüssige, theils feste Körper sind. So verbinden sich z. B. Wasserstoffgas und Sauerstoffgas zu Wasser, welches im Eise als fester Körper auftritt. Da die Wärme es namentlich ist, welche den Aggregationszustand der Körper bedingt, so kann man die Gase als Verbindungen fester Körper mit der Wärme betrachten. Bis jetzt kennt man 24 wägbare Stoffe, welche sich als Gase darstellen, nämlich: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Kohlenoxyd, Kohlensäure, Kohlenwasserstoff in Minimum und Maximum, Phosphorwasserstoff, schweflige Säure, Hydrothionsäure, Selenoxyd, Hydroselensäure, Hydriodsäure, Hydrobromsäure, Chloroxydul, Chloroxyd, Salzsäure, Fluorbor, Stickoxydul, Stickoxyd, Ammoniak, Cyan, Fluorsilicium, Arsenikwasserstoff.

Bei Anführung dieser Gase macht Gmelin folgende Bemerkung. 1) Mehre unzerlegte Stoffe haben Gasgestalt. 2) Alle zusammengesetzte Stoffe, welche Gasgestalt haben, enthalten wenigstens einen von diesen gasförmigen unzerlegten Stoffen; es ist keine Verbindung von zwei nicht gasförmigen Stoffen bekannt, welche sich als Gas darstellt; wir müssen also den Sauerstoff, der sich im Kohlenoxyd, der Kohlensäure u. s. w. vorfindet, den Wasserstoff der Hydrothionsäure, Hydriodsäure u. s. w. als die Ursachen ansehen, daß auch diese Verbindungen noch Gasgestalt besitzen. Obgleich daher das Fluor nicht für sich bekannt ist, so kann man doch aus dem Umstande, daß das Fluorsilicium Gasgestalt besitzt, schließen, daß das Fluor für sich ebenfalls die-

Digitized by Google

selbe besitze. 3) Nach den Versuchen von Faraday sind Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und Stickgas nicht durch verstärkten äußeren Druck und Kälte zu verdichten, dagegen viele ihrer Verbindungen, wie Kohlensäure, Hydrothionsäure, Cyan u. s. w. Die einfachen Stoffe haben also noch mehr Streben zur Gasform, als diejenigen ihrer Verbindungen, welche sich unter den gewöhnlichen Umständen ebenfalls gasförmig zeigen. 4) Es gibt keine Verbindung von mehr als zwei Stoffen, welche ein Gas zu bilden im Stande wäre. Selbst das Cyangas wird durch das Hinzutreten des so elastischen Wasserstoffs in eine Verbindung, die Blausäure, verwandelt, welche unter den gewöhnlichen Umständen eine tropfbare Flüssigkeit darstellt. Einige Gasarten lassen sich, wenn sie in die atmosphärische Luft ausströmen, entzünden, wie das Wasserstoffgas, Kohlenoxydgas, Kohlenwasserstoffgas, Phosphorwasserstoffgas, hydrothionsaures Gas, hydroselensaures Gas, Ammoniakgas, Arsenikwasserstoffgas. Andere Gase brennen zwar nicht selbst, erhalten aber das Brennen, wie Sauerstoffgas und Chlorgas, noch andere Gase endlich sind weder selbst verbrennlich noch das Brennen unterhaltend, zündend. Dasjenige Gas, welches, indem es der atmosphärischen Luft beigemischt ist, geathmet wird, ist das Sauerstoffgas. Alle übrigen Gase sind nicht athembar, d. h. ein lebendiges Wesen muß von einer Atmosphäre solcher Gase umgeben sterben. Während jedoch einige Gase, wie das Stickgas, das Wasserstoffgas, nur ein Ersticken bewirken, indem das Einathmen derselben ganz so erfolglos ist, wie wenn überhaupt gar nicht geathmet wird, wirken andere Gase direct schädlich. Ueber das Verhalten der einzelnen Gase in dieser so wie in allen anderen Hinsichten, welche eigenthümliche Eigenschaften der einzelnen betreffen, s. die betreff. Art.

Ueber Gasbeleuchtung, s. Kohle, Kohlenwasserstoffgas.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß zuerst van Helmont das Wort Gas zu Bezeichnung luftförmiger Stoffe angewendet habe, und daß zuerst Priestley durch seine wichtigen Entdeckungen über die Natur der Gase dieselben zum Gegenstande der Physik im engeren Sinne gemacht habe. Bis dahin hatte man sie nur in chemischer Hinsicht betrachtet.

Gefühl heißt der sich über alle Theile des thierischen Körpers, in denen sich Nerven befinden, erstreckende Sinn, auf den sich auch die übrigen Sinnesempfindungen zurückführen lassen; es ist im Allgemeinen die Erscheinung, daß die Nerven auf eine physisch unerklärliche Weise die Afficirungen, welche sie erleiden, ins Bewußtsein bringen. Alle Theile des Körpers, welche keine Nerven enthalten: die Oberhaut, die Nägel, Haare, Knochen, Knorpel, Bänder, Sehnen ꝛc. haben kein Gefühl, je mehr Nerven dagegen ein Theil des Körpers enthält, desto gefühlvoller und empfindlicher ist er. Nach Verschiedenheit des die fühlenden Theile afficirenden Reizes ist auch die Empfindung, das Gefühl ein verschiedenes, angenehm oder unangenehm. Alle zu heftigen Reize sind unangenehm, schmerzhaft. Das Einschlafen einzelner Glieder ist eine vorübergehende Unterbrechung des Gefühles, eben so nur in

Digitized by Google

erhöhtem Grade das sogenannte Absterben einzelner Glieder. Völlige und bleibende Abgestumpftheit kommt bei einzelnen Krankheiten (kaltem Brand, Lähmung) vor. Wenn das Bewußtsein lebhaft mit einem bestimmten Gegenstande erfüllt ist, im Zustande der Begeisterung, auch der Wuth, der Trunkenheit, bleibt der Mensch gefühllos bei den bedeutendsten Verletzungen. Merkwürdig ist es, daß Menschen, denen ein Glied ihres Körpers abgenommen, noch später Gefühl im fehlenden Gliede zu haben meinen, ein Beweis, daß wir den Ort des Gefühles nicht unmittelbar im Gefühle selbst wahrnehmen, sondern denselben erst durch Reflexion bestimmen. Gefühl in engerer Bedeutung ist so viel als Tastsinn und bezeichnet dann einen der fünf gewöhnlich neben einander gestellten Sinne des Menschen. Sein Hauptorgan hat der Tastsinn in den Fingerspitzen, welche mit einer großen Menge regelmäßig neben einander stehender Nervenwärzchen versehen sind. Dieser Sinn ist am ausgebildetsten bei blinden Personen, bei welchen er zum Theil den fehlenden Sinn des Gesichts ersetzen muß. Man hat behauptet, daß einige Blinde sogar die Farben mittelst des Tastsinnes zu unterscheiden vermochten: dieß gilt jedoch höchstens von den Farbestoffen und überhaupt den mit diesen gefärbten Körpern, welche eine materielle Verschiedenheit darbieten, nicht jedoch von den prismatischen Farben, welche wenigstens mittelst des Tastsinnes kein Blinder zu unterscheiden im Stande ist. Wenn es gegründet ist, daß durch die Farben Magnetismus und Elektricität erregt werden kann, so wäre allenfalls durch eine derartige Einwirkung möglich, daß die verschiedenen Farben durch Blinde unterschieden werden könnten. Doch gibt es auch hierfür kein hinlänglich beglaubigtes Zeugniß.

Gegenschein, (lat.) Opposition (s. Aspecten) wird in der Astronomie mit ☍ bezeichnet. Man sagt, zwei Gestirne sind in Opposition, wenn sie eine um 180° verschiedene Länge haben, am Himmel einander gegenüber stehen, sich in demselben durch beide Pole der Ekliptik gehenden größten Kreise, aber der eine auf dem einen durch die Pole abgegrenzten Halbkreise, der andere in dem anderen Halbkreise befinden. Befindet sich der Mond in Opposition mit der Sonne, so ist Vollmond, und hat der Mond zugleich eine geringe Breite, so gibt es eine Mondfinsterniß.

Gehör, derjenige Sinn des Menschen und Thieres, durch welchen Laute (Ton, Schall, Klang, Geräusch ꝛc.) wahrgenommen werden. Das Organ des Gehöres ist das Ohr, s. d. Art. Die Schärfe des Gehöres ist bei den verschiedenen Individuen sehr verschieden, Taubheit, d. h. völlige Gehörlosigkeit, ist beim Menschen gewöhnlich auch mit Stummheit verbunden, weil, wer nicht hört, auch nicht reden lernt, wenn er auch von Natur unartikulirte Töne von sich zu geben im Stande ist. Umgekehrt hat Stummheit aber nicht Taubheit zur nothwendigen Folge. Lange Zeit glaubte man die (stummen) Fische wären taub, die Erfahrung hat aber gelehrt, daß sie sehr wohl zu hören vermögen, wie man denn z. B. die Fische in manchen Teichen

Digitized by Google

durch Glocken zur Fütterung ruft. Auch über die Schwerhörigkeit s. Ohr. Einige Individuen vermögen sehr hohe Töne gar nicht mehr zu hören, und gewiß ist die Hörfähigkeit aller Menschen in gewisse Grenzen der Höhe und Tiefe eingeschlossen, alle über diese Grenze hinaus liegenden Töne werden von uns nicht wahrgenommen. Eine merkwürdige, aber keineswegs seltene Erscheinung ist, daß Menschen (namentlich solche, die selbst Musiker sind und erst später schwerhörig geworden) musikalisches Gehör haben, während sie für unmusikalische Töne mehr oder weniger taub sind. Andere Menschen hören nur solche Laute, welche gleichzeitig mit einem anhaltenden starken Geräusche ihr Ohr treffen. So erzählt Willis (diese von ihm zuerst beobachtete Krankheit wird paracusis Willisiana genannt) von einer Frau, welche nur dann sich unterhalten konnte, wenn eine Trommel neben ihr geschlagen wurde, wozu sie sich deßwegen, um ihre Geschäfte selbst zu besorgen, eine Magd hielt; ferner von einem Manne, welcher nur bei Glockengeläute hörte. Außerdem werden noch mehre Fälle berichtet, und ich selbst kenne eine Dame, welche sich stets zur Unterhaltung des Hörrohres bedienen muß, in einem rasselnden Wagen sitzend aber sehr wohl hört. Menschen, welche völlig taub sind, sind zuweilen in der Herzgrube für starkes Geräusch empfindlich. So theilt Pfingsten einen Fall mit, daß eine völlig taube Frau mit einer Magd im Dunkeln (?) sich sehr wohl unterhalten konnte, indem sie alles verstand, was die Magd sagte, wenn diese ihr die Hand auf die Brust legte. Ueber die Täuschungen, welchen das Gehör ausgesetzt ist, s. d. Art. Bauchredner. Indeß ist es nicht gegründet, wenn behauptet wird, man könne nicht entscheiden, aus welcher Gegend ein Geräusch herkomme, nur unter besonderen Umständen ist hier ein Irrthum möglich, wenn z. B. ein Zimmer nach einer bestimmten Seite zu ein geöffnetes Fenster hat, so wird jeder starke Schall außerhalb des Zimmers an einem Orte, der von demselben abgeschlossen mit der Fensteröffnung aber frei durch die Luft communiciren kann, aus der Richtung der Fensteröffnung zu kommen scheinen. Wie häufig kommt es vor, daß man die Taschenuhr, deren Picken man vernimmt, sucht und findet, und überdieß kann man sich leicht durch eigenst angestellte Versuche überzeugen, daß im Allgemeinen die Richtung des Schalles unterscheidbar sei. Vergl. Gesicht.

Geographie (v. d. griech. γέα Erde, γράφω beschreiben) Erdbeschreibung wird eingetheilt in: 1) physische Geographie, welche die Erde als Naturkörper betrachtet und beschreibt, also seine natürliche Beschaffenheit so weit als möglich ist anzugeben sucht; daher sowohl was der Mensch vom Innern der Erde, als was er vom Aeußern derselben kennt, die Größe von Meer und Land, die Produkte beider, die Verschiedenheit der Zonen, Berge und Thäler nach ihren Abwechselungen und Verbindungen, eben so die Flüsse und Ströme nach ihren Gebieten u. s. w. angibt. Als besondere Theile der physischen Geographie sind die Geologie und die Geognosie zu unterscheiden. Die erste sucht die allmählige Bildung des Erdkörpers zu seiner jetzigen Gestalt zu entdecken und gründet sich hierbei mehr oder

Digitized by Google

weniger auf Hypotheſen, namentlich hat man ſich geſtritten, ob bei der Formirung der Erde mehr das Waſſer oder mehr das Feuer thätig geweſen ſei, oder ob beides Feuer und Waſſer von gleichzeitigem und gleich großem Einfluſſe war. Noch jetzt ſehen wir, wie durch Feuer, nämlich durch Vulkane, Erdbrände, Erdbeben, Umgeſtaltungen der Erdoberfläche ſtattfinden; aber eben ſo große Umformungen bewirkt auch das Waſſer durch Ueberſchwemmungen, Anſchwemmungen, Abſpühlungen und Zurücktreten. Aber auch Stürme bewirken Veränderungen und überhaupt gibt es keine Naturkraft, welche nicht zur Veränderung des Erdkörpers nothwendig beitrüge. Geognoſie gibt nähere Auskunft über die Beſtandtheile der Erdrinde, über die Beſtandtheile der Gebirge, die Lager der Metalle, der Steinkohlen, Braunkohlen u. ſ. w.

2) Die mathematiſche Geographie betrachtet die Erde als Himmelskörper und das Verhältniß derſelben zu den übrigen Himmelskörpern. Sie iſt alſo eigentlich ein Theil der Aſtronomie. Sie gibt die Beweiſe von der Kugelgeſtalt der Erde, von der Bewegung der Erde und der Geſtalt der Erdbahn, lehrt die mathematiſche Eintheilung der Erde nach Parallelkreiſen und Meridianen und die hiernach mögliche Beſtimmung der Oerter der Erde nach geographiſcher Länge und Breite; ſie lehrt, woher die Verſchiedenheit der Jahreszeiten, der Tageszeiten, der Mondwechſel, woher Sonnen- und Mondfinſterniſſe kommen u. ſ. w.

3) Die politiſche Geographie lehrt die Eintheilung der Erde in Länder nach willkührlich von den Menſchen feſtgeſetzten Grenzbeſtimmungen, die Staatseinrichtungen dieſer Länder, beſchreibt die Wohnplätze der Menſchen, überhaupt alle diejenigen Einrichtungen der Erde, welche nicht durch die Natur, ſondern durch den freien Willen des Menſchen hervorgebracht ſind. Sie iſt daher nicht Gegenſtand der Naturwiſſenſchaften.

Gerinnung iſt eine Art Fällung (ſ. d. Art.), welche entweder durch bloßes Erhitzen oder durch Zuſatz eines anderen Körpers bewirkt wird. Die ſich ausſcheidende Subſtanz erſcheint in weichen, elaſtiſch-zähen Flocken.

Geruch heißt 1) der Sinn, mittelſt deſſen riechbare Körper wahrgenommen werden und deſſen Organ die Naſe iſt. Da man nur dann riecht, wenn man durch die Naſe Luft einzieht, ſo ſcheint es wahrſcheinlich, daß die riechenden Subſtanzen ungemein fein in der Luft vertheilt ſind, mit dieſer aber in die Naſe kommen und hier den Geruchsnerven auf eine eigenthümliche Weiſe afficiren. Bekanntlich haben einige Thiere, z. B. die Hunde, einen ungemein ſcharfen Geruchsſinn, und keinem der vollkommner organiſirten Thiere ſcheint dieſer Sinn gänzlich zu fehlen. Nach der Ausbildung des Geruchsorganes zu ſchließen, würde der Menſch unter allen Thieren den ſchwächſten Geruchsſinn haben.

Unter Gerüchen verſteht man 2) auch die riechbaren Subſtanzen ſelbſt, ſo fern man annimmt, daß dieſelben durch feine Vertheilung in der Luft ſich ausbreiten. Starke und unangenehme Gerüche können

Digitized by Google

Uebelkeiten, Erbrechen und Ohnmachten zur Folge haben. Wichtig iſt die Bemerkung, daß beim Genuß ſchädliche Stoffe faſt immer einen widerlichen Geruch haben, und man glaubt daher, daß namentlich der Geruchsſinn die Thiere bei der Auswahl ihrer Nahrungsmittel leite.

Geſchmack iſt der dem Geruchsſinn am nächſten verwandte Sinn. Sein Organ iſt die Zunge. Dieſer Sinn ſcheint bei dem Menſchen vor allen Thieren ausgebildet zu ſein, und da derſelbe, wie es ſcheint, den ſchwächſten Geruchsſinn hat (ſ. d. Art. Geruch), ſo ſcheinen ſich Geruchs- und Geſchmacksſinn gegenſeitig zu ergänzen. Wie der Geruch, ſo zeigt auch der Geſchmack durch widerliche Erregung unmittelbar die Gegenwart ſchädlicher Subſtanzen an. Die nahe Verwandtſchaft beider Sinne ſieht man auch daraus, daß die Empfindungen des einen fortwährend mit denen des anderen zuſammengeſtellt und verwechſelt werden. Man ſagt z. B., es ſchmecke etwas, wie etwas anderes riecht. Von verwöhnten Schoßhündchen wird erzählt, daß, obſchon ſie ſonſt trockenes Brod verachten, ſie es doch genießen, wenn man ihnen zugleich ein Stückchen Zucker vor die Naſe hält, und ein Geizhals machte ſich dadurch ſein trockenes Brod ſchmackhaft, daß er beim Genuſſe deſſelben an einem Stücke Käſe roch.

Geſchwindigkeit eines bewegten Körpers iſt der Ausdruck des Verhältniſſes, in welchem die Zeit der Bewegung zu der Größe des zurückgelegten Raumes ſteht. Unter abſoluter Geſchwindigkeit verſteht man die Angabe des Raumes, welchen ein bewegter Körper in einer beſtimmten Zeit zurückgelegt hat. Unter relativer Geſchwindigkeit die Angabe des Verhältniſſes, in dem die abſolute Geſchwindigkeit des einen Körpers zu der eines andern Körpers ſteht. Gleichbleibende Geſchwindigkeit hat ein Körper, welcher ſtets in denſelben Zeiten dieſelben Räume zurücklegt; beſchleunigte Geſchw. ein Körper, welcher in jedem folgenden Zeittheile eine größere Raumſtrecke zurücklegt als in dem vorhergehenden (die beſchleunigte Geſchw. iſt entweder gleichmäßig oder ungleichmäßig beſchleunigt); verzögerte Geſchw. (gleichmäßig oder ungleichmäßig) ein Körper, welcher in jedem folgenden Zeittheile eine geringere Strecke Weges zurücklegt als in dem vorhergehenden. Intereſſant iſt es, die Geſchwindigkeiten verſchiedener bewegter Gegenſtände mit einander zu vergleichen. Muncke gibt nach Scholz folgende Zuſammenſtellung, in der natürlich gleichbleibende Geſchwindigkeiten angenommen ſind. Es iſt angegeben, wie viele Par. Fuß in einer Sexageſimalſecunde zurückgelegt werden.

	Fuß.
Mittlere Geſchwindigkeit der Flüſſe	3 bis 4
" " " Donau	5 " 6
" " des Amazonenfluſſes	7,3
" " der Linth	11,6
Der ſchnellſten Ströme ſelten	12,5
Des Waſſers im Bagnithale etwa	32,0
Des Windes bei mäßiger Stärke	10,0

Digitized by Google

	Fuß.
Des Sturmes	50,0
Der heftigsten Orkane höchstens	120,0
Des Schalles in der Luft bei 0° C. Temperatur	1022,2
Der in den leeren Raum stürzenden atmosphärischen Luft	1200,0
Eines mit der Hand kräftigst geworfenen Steines etwa	50,0
Einer Bleikugel aus einer Windbüchse mit hundertfach comprimirter Luft, höchstens	654,0
Einer Büchsenkugel höchstens etwa	1500,0
Einer 24pfündigen Kanonenkugel höchstens	2300,0
Eines Punktes der Erdoberfläche unter dem Aequator	1431,5
Des Mittelpunktes der Erde in ihrer Bahn um die Sonne	94825,0
Einer Schnecke	0,005
Einer Fliege beim gewöhnlichen Fluge mit angeblich 600 Flügelschlägen in 1 Sec. *	5,0
Derselben, wenn sie gejagt wird und 4000 Flügelschläge in 1 Sec. machen soll	29,2
Des Falken, welcher von Fontainebleau bis Malta in weniger als 24 Stunden flog	71,3
Eines Adlers, welcher 15 Meilen in einer Stunde zurücklegen soll	95,2
Einer Brieftaube, welche 50 Meilen in 2,25 Stunden zurückgelegt haben soll	141,0
Einer anderen Brieftaube, welche in 5 Stunden von Lyon nach Lüttich (125 Lieues) flog	95,2
Eines Pferdes vor einem Fiacker	12,0
Der Rennthiere vor einem Schlitten	25,0
Des Luftballons, welcher von Paris nach Rom, 176 Meilen, in 22 Stunden flog	50,6
Eines geübten Schlittschuhläufers	36,0
Des gewöhnl. Wallfisches (19 engl. Meilen in 1 Stunde)	12,3
Der balaena physalis (12 engl. Meilen in 1 Stunde)	16,5
Eines schwimmenden Eisbären (1 Lieue in 1 Stunde)	3,8
Eines Windhundes	78,0
Der englischen Rennpferde, bei denen man 1 engl. Meile auf 2 Minuten rechnet	41,3
Des berühmten Rennpferdes Sterling oder Eclipse, welches um 2000 Lstl. verkauft wurde und bei einem Sprunge 19 Fuß zurücklegte	78,0
Ein Kameel, welches 12 bis 15 Meilen des Tages zurücklegen kann, eine Meile auf eine Stunde gerechnet	6,3
Schnellsegelnde Schiffe legen den Weg von Calais nach Cork, eine Strecke von 500 engl. Meilen, in 48 Stunden zurück, dann ist die Geschwindigkeit	14,0
Wenn man annimmt, daß ein rasch gehender Fußgänger zwei Schritte in einer Secunde macht und mit jedem Schritte $2\frac{1}{2}$ Fuß zurücklegt, so ist seine Geschwindigkeit in 1 Secunde	5,3

Digitized by Google

und er würde eine geographiſche Meile in etwas weniger als 1¼ Stunde zurücklegen.

Muncke gibt noch mehre Beiſpiele außerordentlicher Geſchwindigkeit an. Mehre Wettläufer haben ſich in dieſer Beziehung ausgezeichnet. Unter anderen lief Farguharſon 1821 im Hyde-Park eine engliſche Meile in 246 Secunden, in 4 Abſätzen mit jedesmal 5 Minuten Ruhe, welches eine Geſchwindigkeit = 20,1 Fuß in 1 Sec. gibt, die engliſche Meile zu 4956,6 Par. Fuß gerechnet. Duttry legte auf ſchlüpfrigem Wege 5 engl. Meilen in 28 Min. 45 Sec. zurück, alſo mit einer Geſchwindigkeit von 14,3 Fuß in 1 Sec. Conyngham ging in 53 Stunden einen Weg von 200 engl. Meilen, alſo gar keine Ruhezeit angenommen 5,2 F. in 1 Sec. Lieutenant Haberden ging 1822 von Canterbury nach London, 57,5 engliſche Meilen, in 10 Stunden, alſo 7,9 F. in 1 Sec. Ein canadiſcher Indianer legt mit einer Laſt von 70 ℔ täglich 7 Meilen zurück, ein Eilbote aber 16 Meilen. Von Hunden, deren ſich bekanntlich die Kamtſchatalen zum Fahren bedienen, führt Muncke folgende merkwürdige Beiſpiele an. Unter anderen fuhr ein Schlitten mit Hunden vom Peter-Pauls-Hafen auf Kamtſchatka nach Bolsherietzkoi hin und zurück, und legte ſomit eine Strecke von 270 engl. Meilen in 3¾ Tagen zurück, welches für 1 Sec. eine Geſchwindigkeit von 4,4 Fuß gibt, wenn man gar nichts für die Zeit der Ruhe rechnet, dieſe aber nur als die Hälfte der ganzen Zeit angenommen, 8,8 F. Der Major Behm, Gouverneur von Kamtſchatka, verſicherte übrigens, daß nicht ſelten derſelbe Weg in 2½ Tagen zurückgelegt werde, welches eine Geſchwindigkeit von 6,2 Fuß, und auf die Zeit der Ruhe gerechnet von 12,4 F. gibt; einmal ſollte aber die Hälfte dieſes Weges in 23 Stunden zurückgelegt ſein, welches etwas über 8 F. in einer Secunde, ohne auf die Ruhezeit etwas zu rechnen, beträgt. Noch auffallender aber iſt, was Müller erzählt, daß 1714 der Koſak Markoff einen Weg von 800 engl. Meilen in 24 Tagen zurücklegte, welches ohne Rückſicht auf Ruhezeit eine Geſchwindigkeit von faſt 2 F. auf 1 Sec. gibt, und nicht ſowohl die Schnelligkeit als vielmehr die Ausdauer jener Hunde beweiſt. Dabei gingen ihm zuletzt die Lebensmittel aus, ſo daß mehre ſeiner Hunde vor Hunger und Ermüdung umkamen und den übrigen zur Nahrung dienten. Seine ſtärkeren Tagereiſen betrugen 80 bis 100 Werſte, welches, den Tag zu 12 Stunden gerechnet, 7,6 Fuß für die Sec. beträgt. Parry erzählt von den arktiſchen Hunden, daß neun derſelben mit einer Laſt von 1611 ℔ (auf Schlitten) 1750 Yard in 9 Minuten zurücklegten, welches eine Geſchwindigkeit von 9,3 Par. F. in 1 Sec. beträgt.

Vergl. d. Art. Bewegung.

Geſicht iſt bekanntlich derjenige Sinn, durch welchen wir Licht und Farbe und mittelſt dieſer die Geſtalt der Gegenſtände außer uns wahrnehmen. Das Organ dieſes Sinnes iſt das Auge, deſſen nähere Beſchreibung im Art. Auge gegeben iſt. Mittelſt deſſelben ſehen wir indeß nur, inſofern es vom Lichte afficirt wird. Da die gewöhnliche

Digitized by Google

Vorstellung vom Lichte die ist, daß von den selbstleuchtenden Körpern und von den erleuchteten (bei diesen durch Zurückwerfung) Strahlen ausgehen, so müssen wir sagen, daß das Auge nur dann zu sehen vermöge, wenn auf dasselbe von irgend einem Gegenstande ausgehende Strahlen auffallen. Die Lichtstrahlen gelangen zuerst auf die Hornhaut und durch diese an die wäßrige Feuchtigkeit. Hierbei werden sie gegen die Axe des Auges zu gebrochen, so daß sie etwa 15 Linien hinter der Hornhaut ein Bild sehr entfernter Gegenstände darstellen würden, wenn nicht die Linse sie stärker bräche.*) Beim Eintritt in die Linse und beim Austritt aus der Linse werden die Strahlen zu einer größeren Convergenz gebracht, so daß sie ungefähr 8 Lin. hinter der Linse, d. h. $11\frac{1}{2}$ Lin. hinter der Hornhaut, zu einem Bilde sich vereinigen. In dieser Entfernung von der Hornhaut befindet sich nun der Boden des Auges, welcher von der Netzhaut bedeckt ist. Es erscheint folglich ein Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut und zwar, wie dieses die Brechung mit sich bringt, ein verkehrtes Bild. Nachdem Keppler zuerst diesen Vorgang des Sehens angegeben hatte, ist zuerst von Scheiner die Gegenwart des verkehrten Bildes auf der Netzhaut durch Versuche nachgewiesen worden. Man nehme das Auge eines vor kurzem gestorbenen Menschen oder eines Ochsen, Schafes u. s. w., verdünne den hinteren Theil der harten Augenhaut und bringe vor die Hornhaut in einiger Entfernung davon einen hellen Gegenstand, z. B. die Flamme einer Kerze, so erblickt man von hinten auf dem Grunde des Auges ein kleines sehr scharfes Bild mit derselben Farbe, welche der Gegenstand hat, welches an Größe ab- und zunimmt, je nachdem man den Gegenstand entfernt oder näher bringt. Noch leichter lassen sich derartige Beobachtungen an den Augen weißsichtiger Thiere, Kakerlaken (weißer Kaninchen, weißer Mäuse u. s. w.) anstellen. Hier fehlt der schwarze Ueberzug der Aderhaut, der hintere Theil der harten Augenhaut ist durchsichtig, und die Bilder, die sich auf den Grunde des Auges darstellen, lassen sich daher unmittelbar wahrnehmen. Man kann das Auge mit einer Camera obscura (s. d. Art. Kammer) vergleichen, wie zuerst von Porta die Bemerkung gemacht worden. Aus dem Vergleiche mit dieser würde weiter folgen, daß, obschon das Bild auf der Netzhaut im gesunden Auge durch die Linse hervorgebracht wird, doch die Entstehung eines Bildes auch ohne die Linse möglich sei. Man hat denn auch in der That gefunden, daß Personen, welchen der graue Staar durch Herausnehmen der Linse operirt worden, noch sehen, obschon undeutlicher als mit gesunden Augen. Zum Ersatz der herausgenommenen Krystalllinse, bis sie wieder erzeugt ist, dient in diesem Falle eine sogenannte Staarbrille, eine biconvexe Glaslinse.

So wenig als bei irgend einem anderen Sinne kann übrigens auf dem Wege sinnlicher Beobachtung aufgedeckt werden, wie der Mensch die auf sein Auge durch die Gegenstände geschehenden Eindrücke zur geistigen Wahrnehmung, zum Bewußtsein bringe. Es ist dieses zu ent-

*) S. d. Art. Brechung und Linse.

Digitized by Google

decken auch nicht Sache der Naturwissenschaften, denn das Geistige wird für sich durch die Sinne nicht wahrgenommen, die Sinne aber sind die Mittel, deren sich die Naturwissenschaften bedienen. Wir können das Auge in der Physik nur betrachten als ein von der Natur selbst gemachtes optisches Instrument, und wir finden, daß die Natur bei Bereitung desselben alle diejenigen Einrichtungen getroffen habe, welche wir nach langer Erfahrung, vielen Beobachtungen, tiefem Nachsinnen als diejenigen gefunden, welche wir den durch menschliche Kunst bereiteten optischen Instrumenten geben müssen, wenn dieselben einen gewissen Grad von Vollkommenheit erreichen sollen. Bei der Construction ihrer Instrumente stehen der Natur überdieß Mittel zu Gebote, welche die Kunst bis jetzt zum Theil nur ungeschickt, zum Theil gar nicht beherrschen kann, und mit denen die Natur diejenigen Uebelstände vermeidet, an denen die von der Kunst gefertigten Instrumente leiden. Je weiter wir in der Bereitung der Instrumente kommen, desto mehr werden wir noch den Bau des Auges bewundern lernen, denn die Natur hat selbst alle ihre Gesetze aufs vollkommenste angewendet, lange ehe der Mensch zum Bewußtsein über diese Gesetze kommt. So wissen wir, daß das Innere der optischen Instrumente mit einem schwarzen Ueberzuge versehen sein müsse, um alle seitwärts nicht zur Hervorbringung des Bildes dienenden Lichtstrahlen nicht zurückzuwerfen, denn dieses würde die Deutlichkeit des Bildes verhindern, und so begreifen wir nun, warum die Natur das Innere des Auges mit einem dicken schwarzen Pigmente (s. d. Art. Auge) überzogen habe. Bei den Kakerlaken fehlt dieses Pigment, daher werden die Augen derselben durch den zu starken Lichtreiz geblendet, und dieselben sehen lieber bei schwachem als bei hellem Lichte. Die Abweichung wegen der Kugelgestalt (s. d. Art.), die bei den Linsen von so hinderlichem Einflusse ist, wird, wie Poterfield entdeckt hat, dadurch vermieden, daß die Linse nach dem Rande zu an Dichtigkeit abnimmt. Auch die Farbenzerstreuung, an der das Auge seiner Einrichtung nach so sehr wie die künstlichsten optischen Instrumente leiden müßte, wenn sie nicht durch besondere Vorkehrungen vermieden wäre, ist bei dem Auge vermieden. Wodurch dieser Achromatismus des Auges (s. d. Art Linse) aber eigentlich bewirkt werde, ist bis jetzt nicht vollkommen ermittelt.

Die Entfernung, in welcher man noch deutlich einen Gegenstand sehen kann, heißt die Weite des deutlichen Sehens, die Sehweite. Es gibt natürlich für jedes Auge gewisse Grenzen dieser Sehweite, nimmt man aber als Sehweite die Entfernung an, in welcher das deutlichste Sehen stattfindet, so gibt es nur Eine bestimmte Entfernung für jedes Auge. Vergl. über die Art, die Sehweite des Auges zu entdecken, den Art. Brille.

Die Sehweite für ein gesundes Auge beträgt nach Huygens 8 Par. Zoll, nach La Hire 12 Zoll, nach Büffon 8 bis 20 Zoll, nach Jurin zwischen 5 Zoll bis 14 Fuß 5 Zoll. Diese letzte Angabe haben Viele für zu hoch erklärt, doch ist die Sehfähigkeit der Augen bei den verschiedenen Individuen sehr verschieden. Mir z. B. kommt diese Angabe gar nicht zu groß vor, da ich noch aus einer Entfernung

Digitized by Google

von 30 Fuß bei gewöhnlicher Beleuchtung Büchertitel zu lesen sehr wohl im Stande bin, und die Schrift der Allgemeinen Zeitung aus einer Entfernung von 6 Fuß eben so geläufig zu lesen vermag, wie aus der Entfernung von $2\frac{1}{2}$ Zoll und aus der von 10 Zoll. In der Dämmerung dagegen sehe ich viel schlechter als Personen, die ich bei Tage mit der Stärke meines Auges weit übertreffe. Uebrigens scheint jedes der Augen des Menschen, wenn nicht immer, doch in vielen Fällen eine verschiedene Sehweite zu haben.

Eine besonders merkwürdige Erscheinung ist, daß der Mensch mit beiden Augen doch nur einfach die Gegenstände sieht. Legen wir den Finger an das eine Auge an, und drücken es seitwärts, so erscheint der mit beiden Augen betrachtete Gegenstand doppelt. Hieraus ergibt sich die Folge, daß es auf der Netzhaut beider Augen übereinstimmende Punkte geben müsse, welche die Eigenschaft haben, die Empfindung nur Eines Bildes zu bewirken, wenn die gleichen Bilder auf diese übereinstimmenden Punkte fallen. Bei dem gesunden Auge müssen diese einander entsprechenden Punkte so liegen, daß beide Augapfel in der Mitte stehen, um Gegenstände grade vor uns zu sehen, beide Augen nach der rechten Seite hin stehen, um rechts liegende Gegenstände zu sehen, d. h. denken wir uns eine durch die Mitte des Augapfels nach dem Grunde desselben gehende Linie, so müssen in jedem Auge um diese Linie, wo sie die Netzhaut trifft, die einander entsprechenden Punkte geordnet sein. Sehen wir nun auf einen bestimmten Gegenstand grade vor uns hin, so richtet sich das Auge so gegen den Gegenstand, daß die Fortsetzung jener im Auge angenommenen Linie den Gegenstand trifft; beide von den Augen ausgehenden Linien schneiden sich also an der Stelle des Gegenstandes. Hiervon kann man sich, wie folgt, überzeugen. Man halte einen Finger etwa in der Entfernung von 1 Fuß von beiden Augen und in einer gleichen Entfernung hinter den Finger stelle man ein aufgeschlagenes Buch auf; man schließe nun erst das linke Auge und betrachte den Finger mit dem rechten, so zeigt sich ein gewisser Theil der Schrift von dem Finger bedeckt. Man schließe nun das rechte Auge und betrachte den Finger mit dem linken, so bedeckt der Finger einen anderen Theil der Schrift, welcher rechts von dem vorher bedeckten liegt. Es erscheint nämlich jedesmal derjenige Theil von der Schrift bedeckt, in welchem dieselbe von der geraden Linie getroffen wird, welche vom offenen Auge nach dem Finger zu reicht. Schließt man schnell hinter einander abwechselnd bald das eine bald das andere Auge, so tritt die Täuschung auf, als würde der Finger fortwährend hin und her bewegt. Das Merkwürdigste aber ist, daß, wenn man sich bemüht, beide Augen offen haltend, die Schrift hinter dem Finger zu lesen, dieses sehr wohl angeht, indem, was für das eine Auge bedeckt, für das andere sichtbar ist. Dabei sieht man den Finger zugleich und sieht ihn auch nicht, oder er scheint völlig durchsichtig zu sein. Der letztere Versuch gelingt aber nur, wenn die Schrift dem Finger nicht zu nahe ist. Da man gewöhnlich für jedes Auge eine andere Weite des deutlichsten Sehens hat, so pflegt man auch in der Regel nur mit dem einen Auge zu lesen, indem das andere Auge weniger Theil nimmt, obschon es ge-

Digitized by Google

öffnet iſt. Das dominirende Auge iſt gewöhnlich das rechte. Aus dem vorhin Geſagten iſt auch der Umſtand erklärlich, daß, wenn man einen Finger nahe vor die Augen hält und ſich nun anſtrengt, beide Augen auf den Finger zu richten, alle hinter dem Finger in einer etwas größeren Entfernung ſtehende Gegenſtände in doppelten Bildern erſcheinen.

Beſonders bemerkenswerth iſt noch der Umſtand, daß es in jedem Auge einen Punkt gibt, auf welchem daſſelbe vollkommen blind iſt. S. hierüber im Art. Farbe.

Das Auge dient ſowohl nahe als entfernte Gegenſtände zu ſehen, aber es muß ſich daſſelbe beim Betrachten naher Gegenſtände in einem anderen Zuſtande befinden, als bei dem Betrachten entfernter, und zwar findet beim ſchnellen Wechſel des Sehens von nahen Gegenſtänden auf entfernte und umgekehrt allmähliger Uebergang des einen Zuſtandes in den anderen ſtatt. Hiervon kann man ſich leicht überzeugen, wenn man erſt eine weit abſtehende Schrift zu leſen bemüht iſt, und dann die Augen auf eine nahe ſtehende richtet; man wird erſt nach einiger Zeit dieſe zu leſen im Stande ſein. Man ſagt, das Auge brauche ſtets einige Zeit, um ſich zum deutlichen Sehen für eine beſtimmte Entfernung einzurichten oder (lat.) zu adjuſtiren. Am auffallendſten war folgender Verſuch. Aus einer Entfernung von 20 Fuß betrachtete ich eine ziemlich große Schrift mit dem rechten Auge, während das linke geſchloſſen war. Hierauf ſchloß ich das rechte Auge und öffnete das linke; ich erblickte nun mit dieſem bloß eine weiße Fläche und erſt nach einiger Zeit kamen die Buchſtaben auf derſelben wieder zum Vorſchein. Es iſt eine bekannte Thatſache, daß die Pupille im Dunkeln ſich erweitert, im hellen Lichte dagegen ſich zuſammenzieht, hiermit haben Einige die beſchriebene Adjuſtirung des Auges zuſammengebracht. Gewiß iſt, daß, wenn man erſt einen nahen im Dunkeln liegenden Gegenſtand betrachtet und dann einen entfernten ſehr hellen, die Pupille im erſten Falle oft doppelt ſo weit als im zweiten iſt. Die Fehler der Augen, welche von den Krankheiten derſelben noch unterſchieden werden, theilt Cullen in drei Klaſſen: die Verdunklung, die Geſichtsſchwäche und das Falſchſehen.

Zu der erſten Klaſſe gehört der graue Staar, der in einer zuweilen angeborenen und erblichen, meiſt jedoch erſt in den ſpäteren Lebensjahren entſtehenden und allmählig zunehmenden Trübung der Kryſtalllinſe und ihrer Häute beſteht. Man heilt denſelben durch Herausziehen, oder Niederdrücken, oder Zerſtückelung der Linſe. Der grüne Staar iſt eine Verdunklung der gläſernen Feuchtigkeit, welche Blindheit zur Folge hat. Der ſchwarze Staar zeigt ſich bei anſcheinend völliger Klarheit des Auges als eine ſtarke Erweiterung und Unbeweglichkeit der Pupille. Er iſt gewöhnlich unheilbar und hat ſeinen Grund in einer Lähmung der Nerven oder Unempfindlichkeit der Netzhaut. Zuweilen auch entſteht er aus Anhäufung und Stockung der Säfte im Kopfe, allgemeiner Schwäche, Krampf, Gicht oder durch Gifte, die von Innen oder von Außen im Körper verbreitet ſind. Die Verdunklung des Auges iſt auch eine Folge von Flecken und dunklen Häuten auf der Hornhaut, von Mangel der wäßrigen Feuchtigkeit und von

Digitized by Google

Verwachsung des Sternes. Im letzteren Falle kann durch eine künstliche Pupille Heilung bewerkstelligt werden. Zu den Gesichtsschwächen gehört die Kurzsichtigkeit und die Weitsichtigkeit. Die letztere tritt gewöhnlich im späteren Alter ein, daher die Weitsichtigen auch Presbyten (v. d. griech. πρέσβυς alt) genannt werden. Durch den Gebrauch von stark convexen Brillen wird Weitsichtigkeit veranlaßt. Die Weitsichtigen sehen in der gewöhnlichen Sehweite schlecht, daher sie z. B. um zu lesen die Schrift in ungewöhnlich weiter Entfernung vom Auge halten müssen. Um in der Nähe sehen zu können, bedürfen sie eines starken Lichtes und müssen die Augen stark anstrengen. Auch erscheint die Schrift in der gewöhnlichen Entfernung doppelt. Der Grund der Weitsichtigkeit ist geringe Erhabenheit der Hornhaut und unzulängliche Convexität der Linse. Daher fällt der Brennpunkt der Lichtstrahlen von nah gelegenen Gegenständen hinter die Netzhaut, von fern gelegenen dagegen auf dieselbe. Von der eigentlichen Weitsichtigkeit unterscheidet sich noch die Amblyopie, welche in einer allgemeinen Schwächung des Sehvermögens besteht und mit dem Alter eintritt. — Die Kurzsichtigkeit besteht darin, daß das Auge nur von nahen, nicht aber von fernen Gegenständen ein deutliches Bild erhält. Sie ist in manchen Familien erblich, also angeboren, sehr häufig aber entsteht sie auch erst durch Mißbrauch der Augen, durch zu anhaltendes Lesen kleiner Schrift, die schlechte Angewohnheit, die Bücher beim Lesen und das Papier beim Schreiben zu nahe vor die Augen zu bringen, so wie durch anhaltendes Sehen in die Flamme eines Lichtes oder das Feuer. Nur selten kommt sie bei Landbewohnern so wie wie überhaupt in den niedern Ständen vor; sehr häufig dagegen bei Gelehrten. Man hat die Beobachtung gemacht, daß kurzsichtige Personen gern kleine Schrift lesen und eine kleine Hand schreiben, welches daher kommen mag, daß sie durch ihren Fehler genöthigt sind, den Kopf, indem sie der Schrift folgen, zu bewegen, welches bei einer kleinen Schrift weniger nöthig ist; da sie die nur in einiger Entfernung sich befindenden Gegenstände und Personen nicht genau zu erkennen im Stande sind, so zeigen sie stets eine gewisse Unbeholfenheit im Benehmen. Wenn die Kurzsichtigen ihre Augen anstrengen wollen, so blinzeln sie mit den Augen, weßwegen man sie auch Myopen nennt (v. d. griech. μύω schließen, und ὄψ das Auge). Der Grund der Kurzsichtigkeit ist zu große Convexität der Hornhaut und der Krystalllinse. Mit der Kurzsichtigkeit verwandt ist derjenige Fehler des Auges, welcher in der Unfähigkeit desselben besteht, für andere Entfernungen sich zu adjustiren, als diejenige ist, an welche man sich bei anhaltendem Lesen und Schreiben gewöhnt hat. Bekanntlich bedient man sich, um die Nachtheile der Weitsichtigkeit und der Kurzsichtigkeit aufzuheben, der Brillen (s. d. Art.).

Um überhaupt den Vorgang beim Sehen zu erläutern, so wie die Wirkung der Brillengläser zu zeigen, bedient man sich künstlicher Augen oder Kunstaugen. Muncke theilt folgende Beschreibung des Adamsschen Kunstauges mit, welches zugleich die Form und die Bestandtheile des natürlichen Auges nachbilden soll. Dasselbe besteht daher aus einem feinen, hölzernen, kugelförmigen Körper auf einem Ge-

Digitized by Google

ſtelle. An der vorderen Seite befindet ſich die Oeffnung eines natürlichen Auges durch gefärbtes Glas dargeſtellt, deren Mitte, die Pupille nachbildend, durchſichtig bleibt. Hinter dieſer befindet ſich eine mattgeſchliffene Glasſcheibe, auf welcher die erzeugten Bilder wie auf der Retina ſichtbar ſind. Um dieſe hervorzubringen, wird innerhalb der Kugel zwiſchen den Stern und die künſtliche Retina eine von drei zu dieſem Apparate gehörigen Linſen eingeſetzt. Diejenige, deren Brennweite die mittlere iſt, gibt dann ein deutliches Bild entfernter heller Gegenſtände auf der Glasſcheibe, welches durch ein vorgehaltenes Brillen- oder Lorgnettenglas undeutlich wird; die andere von der kürzeſten Brennweite dagegen zeigt ein verworrenes Bild, welches durch ein vorgehaltenes converes Linſenglas noch undeutlicher, durch eine concave Linſe aber vollkommen deutlich wird; die dritte von der längſten Brennweite endlich erzeugt gleichfalls ein verworrenes, durch eine vorgehaltene concave Linſe aber deutlich werdendes Bild. Die erſte zeigt alſo das normale, die zweite das kurzſichtige, die dritte dagegen das weitſichtige Auge. An dieſem Apparate, welchem die Fähigkeit des natürlichen Auges mangelt, ſich für ungleiche Entfernungen einzurichten, kann man noch auf eine andere Weiſe die Wirkung der Brillengläſer zeigen. Gibt nämlich ein Object in mittlerer Entfernung ein deutliches Bild, ſo werden die ſehr weiten und die ſehr nahen undeutlich ſein, erſtere aber durch ein wenig concaves, letztere durch ein converes Glas deutlich erſcheinen, wonach alſo in jenem Falle ein Auge dargeſtellt wird, welches die Gegenſtände näher haben will, in dieſem aber ein ſolches, welchem ſie weiter weggerückt werden müßten, um ſie genau zu erkennen. Kries hat dieſen Apparat ſehr zweckmäßig vereinfacht. (Fig. 216.) A iſt eine hohle Kugel von leichtem Holze oder Papiermaché auf einem Geſtelle. In e befindet ſich eine biconvere Linſe, welche von entfernten erleuchteten Gegenſtänden ein Bild in ihrem Brennpunkte erzeugt und auf der mattgeſchliffenen Glasſcheibe d ſichtbar macht. Letztere befindet ſich in einer beweglichen Röhre und kann vermittelſt derſelben der Linſe e mehr genähert oder von derſelben entfernt werden. Wird das vordere Ende nach einem auf der Oberfläche des verſchiebbaren Rohres befindlichen Zeichen ſo geſtellt, daß es ſich in b befindet, ſo fällt der Brennpunkt der Linſe e für 12 bis 15 Fuß entfernte Gegenſtände auf die Scheibe d, es wird daſelbſt ein vollkommen klares Bild erzeugt und der Apparat ſtellt das normale Auge vor, welchem die Bilder durch ein Hohlglas f oder eine convere Linſe g verdunkelt werden. Stellt man das vordere Ende der Röhre dagegen in a, ſo fällt das deutliche Bild hinter die Scheibe d und die Maſchine ſtellt das weitſichtige Auge vor, welchem die Bilder durch das Brillenglas g deutlich gemacht werden, zieht man dieſelbe dagegen bis c zurück, ſo fällt das Bild vor die Scheibe d und wird, wie beim kurzſichtigen Auge, durch das Lorgnettenglas f deutlich. Daß man endlich auch hiermit den Unterſchied des Fernſehens und des Naheſehens anſchaulich machen könne, verſteht ſich von ſelbſt.

Die Geſichtsſchwächen ſind mannigfach verſchieden. Das Tagſehen, die Nachtblindheit oder Hühnerblindheit beſteht

Digitized by Google

in einer gewissen Unempfindlichkeit der Netzhaut, und äußert sich dadurch, daß das Auge nur bei hellem Sonnenschein zu sehen im Stande ist, bei schwachem Lichte dagegen mehr oder weniger blind ist. Zuweilen ist diese Schwäche angeboren und in den Tropengegenden, in China, Barbados, Brasilien und anderen Orten soll sie sehr häufig vorkommen. Zuweilen ist sie in einigen Gegenden, z. B. Montpellier, epidemisch gewesen. Lafferre erzählt von einem Mädchen, welches bei Tage das beste Gesicht hatte, bei Nacht aber sogar ein helles Kerzenlicht nicht zu sehen vermochte. — Das Nachtsehen, die Tagblindheit, besteht dagegen in einer großen Reizbarkeit der Netzhaut und äußert sich dadurch, daß man, während man helles Tageslicht nicht zu ertragen im Stande ist, bei wenigem Lichte gut sieht, wo ein gewöhnliches Auge nicht mehr zu sehen vermag. Diese Schwäche kann bis zur Lichtscheue gehen, wo das Auge fast keinen Lichtstrahl zu ertragen vermag. Diese Schwäche kann entstehen durch langen Aufenthalt im Dunkeln, wo sich dann die Empfindlichkeit des Auges gegen die geringe Menge des vorhandenen Lichtes steigert. Es ist eine Erfahrung, die wir täglich machen können, daß, wenn wir aus einem hellen in einen dunkeln Ort treten, wir hier anfänglich nichts, nach und nach aber mehr zu sehen beginnen, und daß, wenn wir nun aus dem dunkeln Ort wieder in den hellen treten, das vorher nicht unbequeme Licht uns blendet. Auf der Landenge Darien soll nach Maupertuis das Nachtsehen so gewöhnlich sein, daß die Bewohner ihre meisten Arbeiten bei Nacht verrichten. Die Kakerlaken und die Albinos leiden auch an der Tagblindheit, weil bei ihnen das Pigment im Auge fehlt, Blendung durch das Licht stattfindet. Durch das Anschauen blendend heller Gegenstände, z. B. des Schnees, wird eine schmerzhafte Reizbarkeit des Auges, welche bis zur Entzündung gehen kann, hervorgebracht. Hierher gehört die in Polargegenden häufig vorkommende Schneeblindheit.

Im Vorhergehenden wurde gesagt, daß diejenige Linie, welche vom Auge nach dem gesehenen Gegenstande geht und um deren Durchschnittspunkt mit der Netzhaut die mit einander correspondirenden Punkte beider Augen geordnet sind, mitten durch das Auge gehe. Wenn dieses nicht der Fall ist, so findet das sogenannte Schielen statt. Die Linie vom gesehenen Gegenstande nach dem Auge (die optische Axe des Auges) fällt dann nicht zusammen mit der mitten durch das Auge gehenden Linie (der mathematischen Axe des Auges). Zuweilen findet diese Abnormität in beiden, zuweilen auch nur in einem Auge statt. Das Schielen ist zuweilen angeboren, zuweilen auch nur eine üble Angewöhnung. Sehr häufig, namentlich in dem letzten Falle, besteht das Schielen darin, daß eigentlich nur mit dem einen Auge gesehen wird, während das andere beim Sehen nicht thätige Auge vom Schielenden in schiefer Richtung gehalten wird. Wenn man sich bemüht, das Schielen nachzuahmen, so kehrt man beide Augenaxen so gegen einander, daß ihre Verlängerungen nahe vor der Nase sich treffen; man sieht daher einen in diesen Durchschnittspunkt gehaltenen Gegenstand, z. B. einen Finger, einfach, während man alle weiter abgelegenen Gegenstände doppelt sieht, welches oben S. 660 näher erklärt worden. Man kann es übrigens

Digitized by Google

durch einige Anſtrengung auch dahin bringen, nur mit einem Auge zu ſchielen, man ſieht dann die Gegenſtände einfach, aber nur mit dem richtig ſehenden Auge. Das Schielen wird abgewöhnt, wenn man den Schielenden zwingt, das ſchiefgehaltene Auge gerade zu halten. Hierzu hat man Augenbedeckungen mit in der Mitte befindlichen kleinen Oeffnungen angewendet. Jurin empfiehlt, das geſunde Auge zu verſchließen und die Gegenſtände bloß mit dem kranken oder ſchielenden zu betrachten, dann das geſunde wieder zu öffnen und beide Augen in ihrer Richtung zu erhalten, welches bei Kindern durch einen Gehilfen, von Erwachſenen vor einem Spiegel bewerkſtelligt werden kann.

Das Schieffehen beſteht darin, daß das Auge nur außerhalb ſeiner Axe befindliche Gegenſtände ſieht und ſich ſeitwärts drehen muß, um ein Bild von denſelben zu erhalten. Als Urſache dieſes Fehlers werden Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Axe des Auges, ſchiefe Lage der Pupille oder der Kryſtalllinſe, endlich Verdunkelung des vorderen Theiles der Hornhaut angegeben. Das Halbſehen, wo nämlich den Augen ſtets die eine Hälfte des Gegenſtandes, nach dem ſie hingerichtet ſind, verſchwindet, hat ſehr verſchiedene Gründe. Wollaſton führt mehre Beiſpiele eines vorübergehenden aber wiederkehrenden Halbſehens an, welche eine Folge von Nervenaffectionen waren. Ich ſelbſt habe in einer gewiſſen Lebensepoche dieſen krankhaften Zuſtand zu wiederholten Malen an mir beobachtet, als eine Folge von Erkältungen. Das Halbſehen äußerte ſich gewöhnlich dadurch, daß ich beim Schreiben oder beim Ausgehen, indem ich etwa die Schrift an einem Schilde beobachtete, plötzlich bemerkte, wie immer die eine Hälfte der Schrift für mich völlig ausgelöſcht erſchien, ſonſt hatte ich anfangs keine unangenehme Empfindung, aber es war ein höchſt beunruhigender Zuſtand. Bald nachher trat aber regelmäßig ein wüthender Kopfſchmerz ein, der ſtufenweiſe zunahm, bis heftiges Erbrechen nach einigen Stunden den ganzen Zuſtand plötzlich beendete. Einmal überfiel mich der Zuſtand des Halbſehens ſo plötzlich und ſo heftig, daß ich auf keine Weiſe mich mehr bei dieſer Halbheit zu orientiren wußte, ich befand mich auf der Straße und mußte einen Vorübergehenden anſprechen, mich nach Hauſe zu führen. Ich mußte mich in dieſer Epoche vor jedem Zugwinde in Acht nehmen, nach jeder ſchnellen Abwechſelung von Wärme und Kälte ſah ich mit Gewißheit die Wiederkehr des Zuſtandes voraus. Daß übrigens die Krankheit nervöſen Urſprungs war, vermuthe ich daraus, daß ich mir einbildete, die Herbeiführung des Zuſtandes werde dadurch noch beſchleunigt, wo nicht gar veranlaßt, wenn ſich im Voraus meine Phantaſie lebhaft mit ihm beſchäftigte. Das erſtemal trat er nach einer ſehr heftigen Erkältung beim Baden im Flußwaſſer ein. Die Fälle von bleibendem Halbſehen ſind zum Theil Folgen äußerer Verletzung des Auges. So beobachtete Larrey, daß das rechte Auge eines Gardiſten Lecoeur durch einen Stich mit einem knopfloſen Rappier, welches zwiſchen dem rechten Augapfel und der inneren Wand der Augenhöhle eingedrungen war, das Sehvermögen in der Art verlor, daß er alle jenſeits einer durch ſeine Axe gehenden verticalen Ebene rechts befindlichen Gegenſtände nicht erkannte, ſondern ſtatt deſſen nur

Digitized by Google

einen schwarzen Fleck wahrnahm. — Andere Fälle von Halbsehen sind folgende: Eine Frau sah (wie Crawford berichtet) von allen verticalen Gegenständen bloß die rechte Seite, z. B. von vier lothrecht gehaltenen Fingern sah sie zwei deutlich, den dritten undeutlich, den vierten gar nicht. Von zwei Fingern sah sie nur einen. Wurden die vorgehaltenen Finger bei unveränderter Richtung der Augenaxen rechts bewegt, so wurden sie sämmtlich nach einander sichtbar, verschwanden dagegen bei einer Bewegung nach der linken Seite. Eine gleiche partielle Lähmung erlitt Madame de Pompadour einst nach einer bloßen Erkältung. Merat kannte einen alten Mann, welcher die Gegenstände unter einer horizontalen Ebene durch seine Augenaxe nicht sah. Einen ähnlichen Fall beobachtete Rudolphi an einem Manne, bei welchem die untere Hälfte der Netzhaut gelähmt war und welcher daher den oberen Theil eines vor ihm stehenden Schrankes nicht wahrzunehmen vermochte. Den oberen Theil, weil sich der gesehene Gegenstand umgekehrt auf der Netzhaut abbildet. — Das Doppeltsehen kommt häufig als vorübergehende Augenschwäche vor und mag in einer Schwäche die Axen der Augen in der angemessenen Lage zu halten, seinen Grund haben. Es ist eine bekannte die Trunkenheit begleitende Erscheinung.

Gillies erwähnte eine merkwürdige vorübergehende Abnormität seiner Augen. Es begegnete ihm nämlich in regellosen Zwischenräumen, daß die Gegenstände ihm allmählig weiter wegzurücken und kleiner zu werden schienen, nach 2 bis 8 oder 10 Minuten aber ihren vorigen Abstand und ihre gewöhnliche Größe wieder annahmen. Diese Anfälle stellten sich anfangs seltener ein, dann häufiger, und eben so nahm das Uebel auch wieder ab, kam aber nie, wenn die Augen angestrengt, z. B. mit Lesen beschäftigt waren. An Deutlichkeit verloren die gesehenen Gegenstände auf keine Weise, auch zeigten Linsengläser keine Wirkung.

Das falsche Sehen besteht in der Erscheinung, daß nicht wirklich existirende Gegenstände mit den Augen wahrgenommen, oder wirklich existirende Gegenstände anders als sie wirklich sind gesehen werden. Die erstere Art des Falschsehens hat Veranlassung und Bestätigung eines großen Theiles des Gespensterglaubens gegeben, und weil man die Thatsachen schlechthin geläugnet, nicht aber ihre Wahrheit und die Fälle ihres Vorkommens zum Gegenstande der Betrachtung gewürdigt hat, ist der nachtheilige Aberglaube in einzelnen Fällen, wenigstens bei Personen, die wirklich am Falschsehen dieser Art litten, vielmehr bestätigt als vertrieben worden. In neuerer Zeit hat Brewster, einer der geachtetsten und aufgeklärtesten Physiker Europas, dem Gegenstand wissenschaftliche Aufmerksamkeit gewidmet, und ich glaube wesentlich zur Beförderung wahrer Bildung und vernünftiger Aufklärung beizutragen, wenn ich seinen Bericht wenigstens auszugsweise hier mittheile.

Der berühmte Naturforscher erzählt: „Vor wenigen Jahren hatte ich Gelegenheit, mit Mrs. A. unter einem Dache zu leben. Bis zu diesem Zeitpunkte hatte sie noch keine gespenstischen Täuschungen gesehen und war mit diesem Gegenstande nur durch das interessante Werk von Dr. Hibbert bekannt geworden. Da ich mich mit ihr über die Ursache dieser Erscheinungen unterhielt, bemerkte ich, daß, wenn sie je ir-

Digitized by Google

gend etwas dergleichen ſehen ſollte, ſie, um ein wahres, äußerlich exiſtirendes und als äußeren Gegenſtand geſehenes Geſpenſt von der Schöpfung des Gemüthes zu unterſcheiden, bloß ein Auge zuzudrücken oder beide ſo anzuſtrengen brauche, daß die Gegenſtände doppelt geſehen werden. In dieſem Falle würde das äußere Object oder die vermeintliche Erſcheinung unfehlbar verdoppelt werden, während der Eindruck auf die Netzhaut, welchen das Gemüth erzeugt hat, einfach bleiben würde. Dieſe Bemerkung fiel ihr wieder ein, als ſie unglücklicher Weiſe von derſelben Täuſchung ergriffen wurde. Sie war jedoch mit der Natur derſelben zu wohl bekannt, als daß es für ſie eines ſolchen Beweiſes, daß ſie aus dem Gemüthe entſprungen wären, bedurft hätte. Der Zuſtand von Unruhe, der gewöhnlich dergleichen Illuſionen begleitet, ſcheint ſie verhindert zu haben, den Verſuch als Gegenſtand der Neugierde anzuſtellen. — 1) Die erſte Täuſchung, welche Mrs. A. erfuhr, afficirte bloß das Gehör. *) Am 26ſten December 1830, ungefähr um halb vier Uhr Nachmittags, ſtand ſie nahe am Kaminfeuer im Vorſaal, eben im Begriff, die Treppe hinaufzuſteigen, um ſich anzukleiden, als es ihr vorkam, daß ſie ihres Gatten Stimme höre, der ſie bei Namen rief — — — — „Komm her! Komm zu mir!" Sie glaubte, daß er an der Thüre rufe und dieſe geöffnet wünſche; als ſie jedoch hinging und die Thüre öffnete, war ſie überraſcht, niemand zu finden. Wieder zu dem Kaminfeuer zurückgekehrt, hörte ſie dieſelbe Stimme deutlich und laut — — „Komme, komme her!" Sie öffnete hierauf zwei andere Thüren deſſelben Zimmers, und da ſie niemand fand, ging ſie wieder zu dem Kaminfeuer zurück. Nach wenigen Augenblicken hörte ſie dieſelbe Stimme wieder rufen — — „Komm zu mir, komm! komm fort!" Dieſes Mal war der Ton laut, klagend und etwas ungeduldig. Sie antwortete eben ſo laut: „Wer ſind Sie? Ich weiß nicht, wer ſie Sie ſind." Immer noch glaubte Sie, es ſei jemand, der ſie ſuche; da ſie jedoch keine Antwort erhielt, ſo ging ſie bald die Treppe hinauf. Bei der Rückkehr des Herrn A., die etwa eine halbe Stunde ſpäter erfolgte, fragte ſie dieſen: warum er ſie ſo oft gerufen habe und wo er geweſen ſei. Sie war dem zufolge ſehr überraſcht, zu erfahren, daß er ſich um jene Zeit nicht in der Nähe des Hauſes befunden habe. Eine ähnliche Täuſchung, die aber dazumal nicht beſonders bemerkt wurde, begegnete Mrs. A., als ſie, zehn Jahre vor dem beſchriebenen Ereigniſſe, ſich zu Florenz aufhielt und vollkommen geſund war. Im Begriff, nach der Rückkehr von einem Balle ſich zu entkleiden, hörte ſie eine Stimme, welche wiederholt ſie beim Namen rief; ſie war damals außer Stande, ſich Rechenſchaft darüber zu geben. — 2) Die nächſte Täuſchung, welche Mrs. A. begegnete, hatte einen beunruhigenderen Charakter. Am 30ſten December gegen vier Uhr Nachmittags kam Mrs. A. die Treppe herunter in das

*) Die geſpenſtiſchen Täuſchungen des Gehörſinns ſind denen des Geſichts ſo verwandt, daß ich beide nicht trennen wollte; ſie finden auch eine entſprechende Erklärung.

Digitized by Google

Geſellſchaftszimmer, das ſie nur wenige Minuten vorher verlaſſen hatte. Wie ſie daſſelbe betrat, ſchien es ihr, daß ihr Gatte vor dem Kamin mit dem Rücken gegen das Feuer gekehrt ſtehe. Da er eine halbe Stunde vorher ausgegangen war, um einen Spaziergang zu machen, ſo war ſie überraſcht, ihn hier zu finden, und fragte: warum er ſo ſchnell zurückgekehrt ſei? Die Geſtalt ſah ſie ernſt und gedankenvoll an, antwortete jedoch nicht. Vermuthend, er ſei in Gedanken verſunken, ſetzte ſie ſich nahe am Feuer in einen Lehnſtuhl, höchſtens zwei Fuß von der Geſtalt entfernt, die ſie noch immer vor ſich ſtehend erblickte. Da die Augen derſelben fortwährend auf ſie geheftet blieben, ſo ſagte ſie nach Verlauf einiger Zeit: „Warum ſprichſt Du nicht?“ — Die Geſtalt bewegte ſich ſogleich gegen das Fenſter an dem entfernteren Ende des Zimmers, ſtets mit den Augen ſie anblickend. Sie ging ſo nahe bei ihr vorbei, daß es ſie höchſt befremdete, weder Schritt noch Schall zu hören, auch nicht das Streifen der Kleider oder eine Bewegung der Luft wahrzunehmen. Ungeachtet ſie jetzt überzeugt war, daß dieſe Geſtalt nicht ihr Gatte ſei, ſo glaubte ſie doch keinen Augenblick, daß ſie etwas Uebernatürliches ſei, ſondern überzeugte ſich bald, es ſei eine geſpenſtiſche Täuſchung. So wie dieſe Ueberzeugung in ihrem Gemüthe Raum gewonnen hatte, fiel ihr der Verſuch ein, welchen ich ihr vorgeſchlagen hatte: zu prüfen, ob ſich der Gegenſtand verdoppeln laſſe. Ehe ſie jedoch dieſes auf eine entſcheidende Art thun konnte, hatte die Geſtalt ſich an das Fenſter zurückgezogen, wo ſie verſchwand. Mrs. A. folgte derſelben unmittelbar, ſchüttelte die Vorhänge, unterſuchte das Fenſter; denn der Eindruck war ſo deutlich und zwingend geweſen, daß ſie nicht umhin konnte, ihn für Wirklichkeit zu halten. Da ſie jedoch überzeugt war, die Figur habe auf natürlichem Wege nicht entwiſchen können, ſo überzeugte ſie ſich, daß ſie eine geſpenſtiſche Erſcheinung geſehen habe, denen ähnlich, welche Dr. Hibbert in ſeinem Werke beſchreibt; ſie empfand mithin keine Beunruhigung oder Aufregung. Die Erſcheinung wurde bei vollem Tageslichte geſehen und dauerte vier bis fünf Minuten. Als die Geſtalt dicht bei ihr ſtand, ſo verbarg ſie die hinter ihr befindlichen Gegenſtände, und die Erſcheinung war vollkommen ſo lebhaft, als die Wirklichkeit. — 3) In den beiden beſchriebenen Fällen befand ſich Mrs. A. allein; als aber das nun zu beſchreibende Phantasma erſchien, war ihr Gatte zugegen. Es ereignete ſich am 4ten Januar 1831. Gegen zehn Uhr Abends ſaß Herr A. mit ſeiner Gattin im Geſellſchaftszimmer, Herr A. nahm das Schüreiſen, um das Feuer aufzurühren. Während er damit beſchäftigt war, rief Mrs. A.: „Warum iſt die Katze im Zimmer!“ „Wo iſt ſie?“ fragte Herr A. „Dicht bei Dir!“ erwiderte ſie — „Wo iſt ſie?“ wiederholte er. „Da auf der Decke, zwiſchen Dir und der Kohlenſchaufel.“ Herr A., welcher das Schüreiſen noch immer in der Hand hielt, ſtieß mit demſelben nach der bezeichneten Richtung hin, worauf Mrs. A. rief: „Nimm Dich in Acht, Du wirſt Sie mit dem Eiſen treffen.“ Herr A. erſuchte ſie, genau den Fleck, wo die Katze ſäße, zu bezeichnen. Sie erwiederte: „Dicht bei Deinen Füßen, auf der Decke ſitzt ſie; ſie ſieht mich an. Es iſt Kitty — Kitty, komm her!“ —

Digitized by Google

Es waren zwei Katzen im Hauſe, von denen die eine jenen Namen führte; ſelten oder nie kamen ſie jedoch in das Geſellſchaftszimmer. Bis jetzt hatte Mrs. A. auch nicht die leiſeſte Ahnung, daß das Sehen der Katze eine Täuſchung ſei. Als der Gatte ſie aufforderte, dieſelbe zu berühren, ſo ſtand ſie für dieſen Zweck auf und ſchien etwas zu verfolgen, welches ſich fortbewegte. Sie machte einige Schritte, dann ſagte ſie: „Sie iſt unter den Stuhl gekrochen.“ Herr A. verſicherte ſie, es ſei eine Täuſchung; ſie wollte es jedoch nicht glauben. Er hob jetzt den Stuhl auf und Mrs. A. ſah nun nichts weiter. Jetzt wurde das Zimmer gänzlich durchſucht, es wurde jedoch nichts gefunden. Ein Hund lag auf dem Heerde des Kamins, der, wofern eine Katze im Zimmer geweſen wäre, eine große Unruhe gezeigt haben würde; er lag jedoch vollkommen ruhig. Um völlig gewiß zu ſein, zog Herr A. die Glocke und ſchickte nach den Katzen, die beide in der Wirthſchaftsſtube gefunden wurden. — 4) Ungefähr einen Monat nach dieſem Vorfalle bereitete ſich Mrs. A., ermüdet durch eine anzreifende Fahrt am Tage, vor, zu Bette zu gehen. Es war eilf Uhr, und vor ihrem Spiegel ſitzend war ſie beſchäftigt, ihr Haar in Ordnung zu bringen. Sie befand ſich in einem ſorgloſen, ſchläfrigen Zuſtande, jedoch völlig wachend. Als ihre Finger in thätiger Bewegung waren, die Haare in Wickel zu legen, wurde ſie plötzlich durch die Geſtalt eines nahen Verwandten, der ſich in Schottland befand und vollkommen geſund war, erſchreckt, die ſie im Spiegel erblickte. Die Erſcheinung erſchien über ihrer linken Schulter und die Augen derſelben trafen im Spiegel die ihrigen. Sie war in Grabtücher gehüllt und dieſe, wie es gewöhnlich iſt bei Leichen in England, rund um den Kopf und unter dem Kinn mit Nadeln dicht zugeſteckt. Ungeachtet die Augen offen waren, ſo waren die Züge feierlich und ſtarr. Das Gewand war offenbar ein Leichentuch, indem Mrs. A. ſogar das punktirte Muſter bemerkte, das auf eigenthümliche Art den Rand dieſer Gewänder einfaßt. Mrs. A. beſchreibt ſelbſt ihre damaligen Gefühle wie im Zuſtande der Bezauberung, wodurch ſie einige Zeit hindurch gezwungen wurde, dieſe melancholiſche Erſcheinung, welche eben ſo beſtimmt und deutlich, wie das Spiegelbild eines wirklichen Gegenſtandes, erſchien und deren Geſicht von den brennenden Kerzen des Nachttiſches vollſtändig erleuchtet wurde, anzublicken. Nach wenigen Minuten wandte ſie ſich um, um ſich von der Wirklichkeit der über ihre Schultern blickenden Geſtalt zu überzeugen, ſie war jedoch nicht zu ſehen und war auch aus dem Spiegel verſchwunden, als ſie nach dieſem wieder hinblickte. — 5) Am 17ten März bereitete Mrs. A. ſich vor, zu Bette zu gehen. Sie hatte ihr Dienſtmädchen fortgeſchickt und ſaß mit den Füßen in heißem Waſſer. Da ſie ein vortreffliches Gedächtniß beſitzt, ſo dachte ſie an eine ergreifende Stelle in dem Edinburgh Review und wiederholte ſich dieſelbe. Als ſie die Augen aufſchlug, ſah ſie in einem bequemen Lehnſtuhl die Geſtalt einer verſtorbenen Freundin, der Schweſter des Herrn A. Die Erſcheinung war, wie dieß immer bei jener Perſon der Fall war, mit großer Sauberkeit gekleidet, jedoch hatte ſie ein Kleid eigenthümlicher Art an, welches Mrs. A. die Verſtorbene nie hatte tragen ſehen, was jedoch, der

Digitized by Google

Beschreibung einer gemeinschaftlichen Freundin zufolge, der Anzug war, in welchem Herrn A.'s Schwester bei ihrem letzten Besuch in England erschien. Mrs. A. schenkte der Kleidung, Miene und dem Aussehen der Gestalt, welche in einer gemächlichen Stellung im Stuhle saß, ein Tuch in der Hand haltend, besondere Aufmerksamkeit. Mrs. A. versuchte mit ihr zu sprechen, fand jedoch Schwierigkeiten es zu thun, und in drei Minuten war die Gestalt verschwunden. Eine Minute später trat Herr A. ins Zimmer, fand Mrs. A. schwach nervös, allein völlig von der täuschenden Natur jener Erscheinung überzeugt. Einige Stunden vor dieser und anderen Visionen fühlte sie eine eigenthümliche Empfindung in den Augen, welche nachzulassen schien, wenn die Erscheinung verschwunden war. — 6) Als sie am 11ten October in dem Besuchzimmer auf der einen Seite des Kamins saß, sah sie die Gestalt eines verstorbenen Freundes, der sich vom Fenster her, dem entfernteren Theile des Zimmers, gegen sie hin bewegte. Die Gestalt nahte sich dem Kamin und nahm in dem gegenüberstehenden Stuhle Platz. Da zu der Zeit mehre Personen im Zimmer waren, so beschreibt sie als vorherrschende Vorstellung ihres Gemüthes die Furcht, daß diese durch ihr Staunen beunruhigt werden und sie für gestört halten möchten. Der Einfluß dieser Furcht, so wie die Erinnerungen an eine Geschichte, die sie vor Kurzem gelesen hatte, regten in ihr die erforderliche Entschlossenheit, um den Platz vor dem Kamine zu durchschreiten und sich in denselben Stuhl mit der Gestalt zu setzen. Die Erscheinung blieb vollkommen deutlich, bis sich Mrs. A. gleichsam auf ihren Schooß niedersetzte, wo sie dann verschwand. — 7) Am 26sten desselben Monats, gegen zwei Uhr Nachmittags, saß Mrs. A. in einem Stuhle in demselben Zimmer mit ihrem Gatten am Fenster. Er hörte sie rufen: „Was habe ich gesehen?" Als er nach ihr hinsah, bemerkte er einen auffallenden Ausdruck in ihren Augen und Gesichtszügen. Es war ihr eine Kutsche mit vier Pferden erschienen, die den Weg, der zum Eingange des Hauses führte, nahm. Als sie sich näherte, so fühlte sie sich geneigt, die Treppe hinaufzugehen, um Vorbereitungen zum Empfange der Gäste zu treffen. Sie war jedoch wie vom Zauber gefesselt und unfähig, sich zu bewegen oder zu sprechen. Die Kutsche näherte sich und in der Entfernung von wenigen Fuß vom Fenster sah sie den Wagenführer und die Personen im Innern das gespenstische Ansehen von Skeletten und anderen scheußlichen Gestalten annehmen. Hierauf verschwand alles gänzlich, als sie die oben erwähnten Worte aussprach. — 8) Am 3ten December, etwa gegen neun Uhr Nachmittags, saß Herr und Mrs. A. im Besuchzimmer mit Lesen beschäftigt. Herr A. fühlte einen Druck auf seinen Fuß. Er blickte auf und bemerkte, daß Mrs. A. die Augen mit heftigem und unnatürlichem Hinstarren auf einen neun bis zehn Fuß entfernten Stuhl heftete. Auf die Frage, was sie sehe, veränderte sich der Ausdruck ihrer Gesichtszüge, und nachdem sie sich faßte, sagte sie Herrn A.: sie habe seinen Bruder, der sich zu der Zeit lebend und gesund zu London befand, in dem gegenüberstehenden Stuhle sitzen gesehen, in Grabgewänder gehüllt und mit verzerrten Gesichtszügen, als ob er kaum lebe. — Dieß ist eine kurze

Digitized by Google

Nachricht von den verſchiedenen geſpenſtiſchen Täuſchungen, die Mrs. A. beobachtete. Bei der Beſchreibung derſelben bediente ich (Brewſter) mich der Worte, die ihr Gatte bei der mir gemachten Mittheilung über dieſen Gegenſtand brauchte; der Leſer kann überzeugt ſein, daß ſie weder durch die Einbildungskraft vergrößert, noch durch Zuſätze bereichert wurden. Der ausgezeichnete Charakter und Verſtand der Dame, die Stellung des Gatten in der bürgerlichen Geſellſchaft, der überdieß ein Mann von Kenntniſſen und wiſſenſchaftlicher Bildung iſt, verbürgen die wunderbarſten Erzählungen und gewähren dem größten Zweifler die Gewißheit, daß der Fall der Wahrheit gemäß beſchrieben wurde. Bei Erzählung von Thatſachen, welche einen übernatürlichen Charakter zu haben ſcheinen, iſt das Gemüth geneigt, diejenigen Umſtände beſonders herauszuheben, welche die wunderbarſten zu ſein ſcheinen; allein ganz aus derſelben Urſache iſt bei Beſchreibung außerordentlicher und unerklärbarer Erſcheinungen, welche man für das Ergebniß natürlicher Urſachen hält, das Gemüth geneigt, ſie derjenigen Umſtände, welche die wunderbarſten ſind, zu entkleiden und ſie auf gleichen Fuß mit den natürlichen Ereigniſſen zu ſtellen. Von dem erſten Beginnen der von Mrs. A. geſehenen geſpenſtiſchen Erſcheinungen waren ſowohl ſie als ihr Gatte über Natur und Urſprung derſelben nicht im mindeſten in Zweifel. Beide ſchenkten den dieſelben begleitenden Umſtänden die allergrößte Aufmerkſamkeit, nicht allein in der Abſicht, über einen ſo merkwürdigen Gegenſtand Licht zu verbreiten, ſondern auch, um den Zuſammenhang derſelben mit dem Geſundheitszuſtande, bei dem ſie erſchienen, auszumitteln. — Da die von Nikolai und anderen geſehenen Erſcheinungen ihren Grund in körperlichem Uebelbefinden hatten, ſo iſt es von Intereſſe, den Geſundheitszuſtand von Mrs. A. zu der Zeit, als ſie dem Einfluß dieſer Illuſionen hingegeben war, kennen zu lernen. Während der ſechs Wochen, innerhalb welcher die erſten drei Illuſionen ſtattfanden, war ſie durch einen beſchwerlichen Huſten ſehr mitgenommen und geſchwächt worden. Die dadurch verurſachte Schwäche wurde vermehrt, indem die Kranke verhindert war, ein toniſches Mittel, welches ſie täglich zu nehmen gewohnt war, zu gebrauchen. Der allgemeine Geſundheitszuſtand derſelben war nicht ſtark, und lange Erfahrung hatte es außer Zweifel geſetzt, daß ihre Kränklichkeit von Störung der Verdauungswerkzeuge herrühre. Von Natur hatte Mrs. A. eine krankhafte reizbare Einbildungskraft, die ihre körperlichen Eindrücke ſo ſchmerzhaft afficirte, daß die Erzählung, irgend jemand habe zufällig oder durch ſonſt eine Veranlaſſung heftige Schmerzen gelitten, in den correſpondirenden Theilen ihres Körpers die heftigſten ſchmerzhaften Gefühle veranlaßte. Die Nachricht z. B., daß jemand der Arm abgenommen worden, verurſachte ihr augenblicklich einen lebhaften Schmerz in ihrem Arme. Sie ſpricht mit großer Geläufigkeit im Schlafe, wiederholt lange Stellen aus Dichtern, beſonders wenn ſie unwohl iſt, ja ſpricht eine halbe Stunde lang in Verſen. Hiermit fährt ſie ſo lange fort, bis ihr Gedächtniß erſchöpft iſt.

Ungeachtet es nicht wahrſcheinlich iſt, daß wir den wirklichen Hergang begreifen werden, wie eine Perſon von geſundem Verſtande geſpen-

Digitized by Google

stische Erscheinungen am hellen Tage sehen könne, so können wir doch zu einem solchen Grade der Kenntniß dieses Gegenstandes gelangen, um vernünftige Wißbegierde befriedigen und die Erscheinungen von jeder Eigenschaft des Wunderbaren entkleiden zu können. Selbst das Sehen natürlicher Gegenstände bietet uns unübersteigliche Schwierigkeiten dar, wenn man genau den Antheil auszumitteln bemüht ist, welchen das Gemüth an diesen Wahrnehmungen hat. Der Physiker glaubt, eine genügende Erklärung des Sehens gegeben zu haben, wenn er gezeigt hat, daß sich deutliche Bilder der gesehenen Gegenstände auf der Netzhaut abmalen, und daß diese Haut vermittelst der Nerven, welche mit ihr von gleicher Substanz sind und von denen sie nur eine Verbreitung ist, mit dem Gehirn in Verbindung steht. Hier stehen wir an einem Abgrunde, welchen der menschliche Verstand nicht zu ergründen vermag. Daß gespenstische Erscheinungen nichts weiter sind als Vorstellungen oder in dem Gedächtniß aufbewahrte Bilder des Gemüthes, welche bei gewissen Zuständen körperlichen Unwohlseins lebhafter geworden sind, als wirkliche Sinneseindrücke, oder um mich anderer Worte zu bedienen: „daß die Gemälde im Auge des Geistes lebhafter sind, als die Gemälde im Auge des Körpers," dieser Umstand ist von Dr. Hibbert so klar dargethan worden, daß auch nicht der mindeste Zweifel stattfindet. Ich erlaube mir jedoch die Hypothese: daß des Geistes Auge „wirklich des Körpers-Auge ist," und daß die Netzhaut die gemeinschaftliche Tafel ist, auf welcher beide Klassen von Eindrücken abgemalt sind und vermittelst deren sie dieselbe sichtbare Existenz, denselben optischen Gesetzen gemäß, erhalten. Dieses bewährt sich nicht allein bei gespenstischen Illusionen. Es findet gleichfalls bei allen vom Gedächtniß wieder hervorgerufenen oder durch die Einbildungskraft geschaffenen Vorstellungen statt und kann als ein Grundgesetz der Seelenlehre betrachtet werden. — Bei dem gesunden Zustande des Körpers und Gemüthes stehen die relativen Intensitäten dieser beiden Klassen von Eindrücken auf die Netzhaut in einem sehr richtigen Verhältnisse. Die durch das Gemüth veranlaßten Gemälde sind vorübergehend und verhältnißmäßig schwach. Sie vermögen demnach nicht, bei gewöhnlichen Beschaffenheiten die directen Bilder sichtbarer Gegenstände zu stören oder auszulöschen. Die Geschäfte des Lebens könnten nicht verrichtet werden, vermöchte das Gedächtniß lebhafte Vorstellungen des Vergangenen den Scenen des häuslichen Lebens aufzudringen oder sie über die äußere Landschaft zu verstreuen. Die zwei entgegengesetzten Eindrücke können in der That nicht zugleich vorhanden sein. Dieselbe Nervenfaser, welche vom Gehirne nach der Netzhaut die Bilder des Gedächtnisses führt, vermag nicht in demselben Augenblicke die Eindrücke äußerer Gegenstände von der Netzhaut nach dem Gehirne zu leiten. Das Gemüth vermag nicht zwei verschiedene Functionen zu derselben Zeit zu verrichten und die Richtung seiner Aufmerksamkeit auf eine der beiden Klassen der Eindrücke bewirkt nothwendig das Erlöschen der anderen. Allein die Wirkungen der Geisteskräfte erfolgen so schnell, daß das wechselseitige Erscheinen und Verschwinden der zwei sich bestreitenden Eindrücke eben so wenig wahrnehmbar ist, als die auf einander

Digitized by Google

folgenden Beobachtungen äußerer Gegenſtände während des Blinkens der Augenlieder. Blicken wir z. B. nach der Façade der St. Pauls-Kirche, und rufen wir, ohne unſere Lage zu verändern, die berühmte Anſicht des Mont Blanc von Lyon ins Gedächtniß, ſo wird das Gemälde der Kathedrale, ungeachtet ein wirklicher Eindruck auf die Netzhaut vorhanden iſt, augenblicklich dem Gemüthe entſchwinden, ganz ſo, wie ein durch indirectes Sehen wahrgenommener Gegenſtand, und während des Zeitraums wird das wiedererweckte Bild des Berges, ſich hoch über die niedriger liegende Bergkette erhebend, deutlich geſehen, nur mit ſchwacher Färbung und unbeſtimmten Umriſſen. Wurde die Abſicht des Hervorrufens erreicht, ſo verſchwindet es wieder und das Gemälde der Kathedrale gewinnt die Oberhand. — Bei der Dunkelheit und Einſamkeit, wenn äußere Gegenſtände ſich nicht länger in die Gemälde des Gemüthes einmiſchen, werden dieſe lebhafter und deutlicher, und in dem Zuſtande zwiſchen Wachen und Schlafen nähert ſich die Intenſität der Eindrücke der von ſichtbaren Gegenſtänden. Bei Perſonen, die ſich in Nachdenken zu vertiefen pflegen und vorzüglich mit den Operationen ihres eigenen Gemüthes beſchäftigt ſind, ſind die von der Seele verurſachten Gemälde weit deutlicher, als bei gewöhnlichen Menſchen, und in der Vertiefung des abſtracten Denkens machen die äußeren Gegenſtände keinen Eindruck auf die Netzhaut. Ein in ſeine Betrachtungen vertiefter Denker verliert vorübergehend den Gebrauch ſeiner Sinne. Seine Kinder oder Dienſtboten betreten gerade vor ſeinen Augen das Zimmer, ohne von ihm geſehen zu werden. Sie reden ihn an, ohne von ihm gehört zu werden; ja der Verſuch, ihn aus ſeiner Vertiefung zu erwecken, bleibt unbemerkt, obgleich ſeine Augen, ſein Gehör und ſeine Nerven wirklich die Eindrücke des Lichtes, der Töne und der Berührung erhalten. In ſolchen Fällen verfolgt der Denker freiwillig eine Gedankenreihe, an welcher ſeine Seele ein lebhaftes Intereſſe nimmt; allein ſelbſt gewöhnliche Menſchen, nicht ſehr geneigt für Speculationen irgend einer Art, bemerken öfters in dem Auge ihres Gemüthes Gemälde abweſender oder verſtorbener Freunde, oder ſelbſt lächerliche Schöpfungen der Einbildungskraft, die nicht im mindeſten Zuſammenhange mit dem Laufe ihrer Gedanken ſtehen. Geſpenſtiſchen Erſcheinungen ähnlich, ſind ſie gänzlich unwillkührlich, und ungeachtet ſie aus einer Reihe regelmäßiger Ideenaſſociationen entſprungen ſein mögen, ſo iſt es doch oft unmöglich, ein einziges Glied in der Kette zu entdecken. — Wenn es ſeine Richtigkeit hat, daß die Gemälde der Seele und die geſpenſtiſchen Täuſchungen auf gleiche Weiſe Eindrücke auf die Netzhaut ſind, ſo werden letztere ſich in keiner Hinſicht von erſteren unterſcheiden, als durch den Grad von Lebhaftigkeit, mit welchem ſie geſehen werden. So werden demnach jene Grauſen erregenden Erſcheinungen nichts anderes als unſere gewöhnlichen Vorſtellungen ſein, welche durch einige zufällige und vorübergehende Unordnungen in den Lebensfunctionen einen höheren Grad von Lebhaftigkeit erhalten haben. Selbſt ihre größere Lebhaftigkeit, welches das einzig Auszeichnende derſelben iſt, läßt ſich erklären. Ich habe bereits gezeigt, daß die Netzhaut durch einen freiwilligen örtlichen Druck, ſo wie durch den unfreiwilligen Druck

Digitized by Google

der hinter ihr liegenden Blutgefäße, empfindlicher werden kann. Wenn durch den Anblick der Sonne wir auf der Netzhaut den Eindruck von dem gefärbten Bilde dieses leuchtenden Körpers hervorbringen, der selbst dann, wenn das Auge geschlossen ist, gesehen wird, so kann man durch Druck die Farbe dieses Bildes, in Folge, daß die Empfindlichkeit desjenigen Theiles der Netzhaut, auf welchen der Eindruck erfolgte, verstärkt wurde, verändern. Hieraus läßt sich leicht begreifen, wie durch analoge Ursachen die Lebhaftigkeit der durch die Seele verursachten Gemälde verstärkt werden muß.“

Eine gewisse Art des falschen Sehens ist die Myodesopsie, welche darin besteht, daß man vor den Augen, namentlich wenn sie gegen helle Gegenstände gerichtet sind, eine Menge schwarzer Punkte, Fäden oder Netze sich bewegen sieht. Dieser Zustand des Auges ist oft vorübergehend, hervorgerufen durch den Anblick hell leuchtender Gegenstände, zuweilen aber auch anhaltend.

Ein sehr merkwürdiger Gesichtsfehler ist die Unempfindlichkeit des Auges gegen gewisse Farben. Brewster führt mehre Fälle an. Ein Schuhmacher in Cumberland konnte wie es schien gar keine Farbe von der anderen unterscheiden; es gab für ihn nur weiß und schwarz; zwei Brüder von ihm hatten ebenfalls nur ein sehr mangelhaftes Vermögen, die Farben zu unterscheiden. Der eine verwechselte stets Hellgrün mit Gelb, Oraniengelb mit Grasgrün. Scott erzählte von sich selbst, daß es keine grüne Farbe für ihn gebe; Nelkenbraun und Blaßblau kamen ihm gleich vor; oft war er nicht im Stande gesättigtes Roth und gesättigtes Grün zu unterscheiden, so wie gesättigtes Purpurroth von tiefem Dunkelblau. Dagegen unterschied er Hell-, Dunkel- und Mittelgelb, und alle Nüancen von Blau, mit Ausnahme des Himmelblau.*) Mehre Glieder derselben Familie litten an ähnlicher Unvollkommenheit. — Harvey erzählt von einem Schneider, welcher einen carmoisinrothen Lappen auf den Ellenbogen eines blauen Kleides setzte. Der berühmte Dalton kann Blau und Nelkenbraun nicht unterscheiden. Im prismatischen Farbenbilde der Sonne entdeckt er nur zwei Farben: Gelb und Roth. Troughton erscheinen Roth, ins Rothe gehendes Nelkenbraun und glänzendes Oraniengelb nur als Nüancen von Gelb, grüne Farben als blaue, so daß er nur blaue und gelbe Farben wahrzunehmen vermag. — Ein gewisser Tucker unterschied nur folgende drei Farbenklassen: 1) Roth und Braun; 2) Blau, Blaßroth, Indigo, Violett und Purpur; 3) Grün und Orangefarben.

*) Diese Mangelhaftigkeit des Auges gab zu komischen Vorfällen Veranlassung. „Ich verheirathete (erzählt Scott) vor mehren Jahren meine Tochter an einen gebildeten Mann; den Tag vor der Hochzeit besuchte er mein Haus in einer neuen feinen Tuchbekleidung. Es war mir sehr unangenehm, daß er, wie es mir schien, schwarz gekleidet war; ich sagte ihm daher, er möchte ein Kleid von anderer Farbe anziehen. Meine Tochter erwiderte jedoch: Keineswegs; die Farbe ist sehr angenehm und die Täuschung liegt in ihren Augen. — Das Kleid war von hochscharlachrother Farbe!“ —

Digitized by Google

Die Schattirungen des Grün konnte er unterſcheiden, aber nicht alle von Orange. Die Farben des Mondes und des Regenbogens ſchienen ihm gleich, jedoch fand er in beiden nur zwei Farben, welche er Gelb und Blau nannte. Schwarze, weiße und gelbe Körper unterſchied er mit Sicherheit, die Schattirungen von Weiß aber nicht. Entengrün war ihm roth, ſaftgrün orange. Uebrigens war ſein Auge geſund, ſah ſcharf und unterſchied die Formen der Körper in der Nähe und in der Ferne. — Nicholl erzählt: Ein geſunder Knabe von 11 Jahren, mit grauen Augen und einem gelben Ringe um die Pupille, erkennt von allen Farben nur Grau, Dunkelgrün und Braun, und verwechſelt jenes mit gewiſſen Arten von Braun. Hellgrün nennt er Hellroth, gemeines Grün Roth, Hellroth und Zinnoberfarbe Hellblau. Durch ein Prisma kann er nur drei Farben, Roth, Gelb und Purpur unterſcheiden. Grüne Brillen, durch welche er ſah, nannte er roth, und ſagte alle Gegenſtände, durch dieſelben betrachtet, hätten einen röthlichen Schein. Die Schweſtern und die Mutter dieſes Knaben ſahen richtig, der Vater ſeiner Mutter litt aber an demſelben Uebel. — Nicholl erzählt auch von einem Manne, deſſen Augen dieſelbe Farbe wie die des Knaben hatten, mit einer etwas kleinen Pupille. Derſelbe konnte Grün und Roth faſt gar nicht unterſcheiden; Scharlachroth erkannte er unvollkommen und Dunkelgrün nannte er Braun. Alle Abſtufungen von Hellroth bis Purpur nannte er hellblau; Gras in vollem Grün erſchien ihm roth. Er hatte übrigens ein ſcharfes deutlich in die Ferne ſehendes Geſicht. — Brandis erzählt von ſich ſelbſt, daß er Hellblau und Roſenroth nicht unterſcheiden könne, Grün und Blau, Gelb und Roth zwar leicht verwechsle, dagegen Rothgelb und Grün in dunklen Tinten, Blau und Roth in hellen gewöhnlich. Sein Neffe habe eine Seidenhandlung verlaſſen müſſen, weil er Himmelblau und Roſenroth nicht zu unterſcheiden vermochte. — Als Urſache dieſer merkwürdigen Erſcheinung kann man entweder annehmen, daß gewiſſe einfache Farben (ſ. d. Art. Farben) das Auge in derſelben Art afficiren wie andere Farben, daher die verſchiedenen Nüancen ſolcher Farben fortwährend mit einander verwechſelt werden, oder daß gewiſſe einfache Farben überhaupt gar nicht wahrgenommen werden, das Auge gar nicht afficiren. Brewſter äußert ſich wie folgt: „In allen denen Fällen, welche ſorgfältig unterſucht wurden, wenigſtens in den drei Fällen, welche ich ſelbſt zu beobachten Gelegenheit hatte, nämlich die der Herren Troughton, Dalton und Liſton, vermochte das Auge das ganze prismatiſche Farbenbild zu ſehen; nur erſchien ihnen der Raum, welchen die rothen Farben einnahmen, gelb. Beſtände der von den rothen Farben eingenommene Raum aus homogenem Lichte oder aus einfachen rothen Strahlen, ſo möchte man geneigt ſein, anzunehmen, daß die Augen der erwähnten Männer nicht unempfindlich gegen rothes Licht waren, ſondern nur, daß ſie die Eindrücke von rothem und gelbem Lichte nicht zu unterſcheiden vermochten. Vor Kurzem wurde von mir dargethan, daß das prismatiſche Farbenbild aus drei gleichen und zuſammenfallenden Bildern von rothem, gelbem und blauem Lichte beſtehe, mithin in dem rothen Raume ſich viel gelbes und eine kleine Menge blaues Licht

Digitized by Google

befinde; hieraus folgt, daß die Augen, welche nur zwei Farben, nämlich Gelb und Blau, in dem Farbenbilde sehen, wirklich gegen das rothe Licht im Farbenbilde unempfindlich sind, und nur das gelbe Licht mit dem kleinen Antheile des blauen, welcher diesem beigemischt ist, wahrnehmen. Die Schwäche des gelben Lichtes, welches auf diese Art in dem Raume des rothen Lichtes gesehen wird, begründet die Meinung, daß die Netzhaut für den Einfluß der einfachen rothen Strahlen nicht Empfänglichkeit besitze."

Bei gewissen Krankheiten, z. B. der Gelbsucht, werden bestimmte Farben gesehen. Boyle erzählt, daß einst die an der Pest Erkrankten an Kleidern und sonstigen Gegenständen Regenbogenfarben sahen. — Sauvages berichtet von einem achtzigjährigen Manne, der eine Zeitlang alle Gegenstände krumm und nach einer Seite hängend sah; Stoll bemerkte, daß ein Patient nach einer hitzigen Krankheit alle Gegenstände schief vorwärts gekrümmt erblickte. Nach Sennert sah ein Leibarzt in Dresden, als er die Augen plötzlich in die Höhe richtete, alles umgekehrt (!?), welcher Fehler sich nach drei Monaten bei einer abermaligen plötzlichen Erhebung der Augen wieder verlor.

Vom Doppeltsehen mit beiden Augen ist schon gesprochen worden. Die Augen, welche man künstlich so stellen kann, daß Doppeltsehen stattfindet, können in eine solche Stellung auch durch krankhafte Affectionen der Augenmuskeln kommen. Seltener sind die Fälle, wo die Gegenstände von Einem Auge zwei und mehremale wahrgenommen werden. Dann pflegt die Ursache eine durch Verletzung oder Krankheit herbeigeführte Facettirung (Abplattung) der Hornhaut oder der Krystallinse zu sein. Reghellini führt einen Fall an, wo eine doppelte Oeffnung des Sternes Doppeltsehen zur Folge hatte. Auch Hirnverletzungen können Ursache dieses Gesichtsfehlers sein.

Ans Unglaubliche grenzt der Fall von fehlerhafter Construction des Auges, welcher von einer Nonne Bernardine Mirault in Flandern und einem gewissen Dumont in Spanien erzählt wird. Man müßte jedenfalls zu Erklärung desselben eine Abnormität der Augen dieser Personen in Hinsicht der chemischen Zusammensetzung annehmen. Die Brillen, deren sich die genannten Personen bedienten, sollen nämlich in wenigen Monaten im Umfange des Sternes durch tiefe Risse zerkratzt worden und erblindet sein. Es gibt aber nicht eine chemische Substanz, von der man annehmen könnte, daß sie aus den Augen strömend eine derartige Erscheinung hervorbrächte. Flußsäure greift zwar das Glas an, und man hat daher das Phänomen zu erklären gemeint, wenn man annähme, daß sie aus den Augen jener Personen verdunste; allein sie würde die ganze Fläche der Brillengläser angreifen, und nicht tiefe Risse, sondern allgemeine Abstumpfung, Erblindung zur Folge haben. Muncke bemerkt auch, daß die zerstörende Wirkung der Flußsäure auch an den feinen menschlichen Häuten sich zeigen müsse.

Brewster macht noch auf einige zu Aufklärung des Aberglaubens sowohl als in gewissen Fällen für praktische Anwendung wichtige Erscheinungen aufmerksam. Ist das Auge beschäftigt, unverwandt einen bestimmten Gegenstand zu betrachten, oder nimmt es eine bestimmte

Richtung, während das Gemüth mit einem daſſelbe ganz in Anſpruch nehmenden Gegenſtande der Speculation oder einem Schmerz erfüllt iſt, ſo verliert es plötzlich das Sehvermögen, oder wird blind für mittelbar geſehene oder ſolche Gegenſtände, auf welche es nicht feſt geheftet iſt. Dieſes findet ſtatt, man mag ſich eines oder beider Augen bedienen, und der Gegenſtand, welcher verſchwand, erſcheint wieder, ohne daß die Lage des Auges verändert wird, während andere Gegenſtände verſchwinden und wiederkehren, ohne irgend eine ſcheinbare Urſache. Wenn z. B. ein Jäger mit angeſtrengtem Intereſſe die Bewegungen eines ſeiner Hunde bewacht, ſo verſchwindet ſein mit vollkommener Klarheit durch indirectes Sehen wahrgenommener Gefährte, und das Licht der Heide oder der Wolken wird ſich über den Fleck verbreiten, auf dem dieſer ſtand. Um dieſe Täuſchung zu beſtätigen, lege man ein kleines Stückchen weißes Papier auf grünes Tuch, und drei bis vier Zoll davon klebe man ein ſchmales Streifchen weißes Papier. In der Entfernung von 12 bis 18 Zoll hefte man Ein Auge anhaltend auf das kleine Stück weißes Papier, ſo verſchwindet in kurzer Zeit ein Theil oder das ganze Streifchen, als wenn es von dem grünen Tuche wäre weggenommen worden. Es erſcheint wieder und verſchwindet abermals. Die Wirkung hängt größtentheils von der Stetigkeit ab, mit welcher das Auge darauf geheftet wurde. Dieſe Täuſchung findet ſtatt, wenn beide Augen geöffnet ſind, obgleich die Beobachtung leichter wird, wenn man eines derſelben ſchließt. Daſſelbe ereignet ſich, wenn der Gegenſtand leuchtend iſt. Erblickt man ein Licht auf die Art durch indirectes Sehen, ſo verſchwindet es nie gänzlich, ſondern breitet ſich zu einer wolkigen Maſſe, deren Mittelpunkt blau, die Einfaſſung ein glänzender Ring von gelber Farbe iſt, aus. — Die Unfähigkeit des Auges, ein anhaltendes Sehen der ſchräg geſehenen Gegenſtände zu ertragen (d. h. ſo daß die Verlängerung der Augenaxe nicht den Gegenſtand trifft), wird durch die größere Empfindlichkeit derjenigen Theile des Auges, welche dieſen Fehler haben, auf eine merkwürdige Art erſetzt. Das Auge beſitzt nur dann das Vermögen, die Gegenſtände mit vollkommener Deutlichkeit zu ſehen, wenn es gerade auf ſie gerichtet iſt; mithin werden alle indirect geſehenen Gegenſtände undeutlich wahrgenommen. Es iſt jedoch ein merkwürdiger Umſtand, daß, wenn wir wünſchen, einen ſehr ſchwachen Stern, etwa einen der Trabanten des Saturn, zu ſehen, wir ihn am deutlichſten ſehen, wenn wir von ihm wegblicken, und wenn das Auge vollſtändig auf ihn gerichtet wird, ſo verſchwindet er ſogleich. — Noch merkwürdigere Erſcheinungen finden bei dem Auge ſtatt, wenn es Gegenſtände ſieht, die wegen der Schwäche der Erleuchtung nur ſchwer deutlich geſehen werden können. Die unvollkommene Wahrnehmung von dergleichen Gegenſtänden nöthigt uns, das Auge angeſtrengter auf ſie zu heften; je größer jedoch die Anſtrengungen ſind, die gemacht werden, um dieſelben wahrzunehmen, um ſo größer werden die Schwierigkeiten, dieſen Zweck zu erreichen. Das Auge wird in den Zuſtand einer höchſt ſchmerzhaften Unruhe verſetzt, der Gegenſtand erſcheint vergrößert, verkleinert, verſchwindet zum Theil und wird wieder ſichtbar, wenn das Auge aus dem Zuſtande der Aufgeregtheit zurück-

Digitized by Google

kehrt, in den es versetzt worden. — Diese Erscheinung findet dann am bestimmtesten statt, wenn die Gegenstände in einem Zimmer von der schwachen Gluth eines fast erlöschenden Feuers erleuchtet werden. Allein auch der Jäger wird dieses bei Tageslicht bemerken, wenn er bemüht ist, auf einer einförmigen Heide genau die Stelle wahrzunehmen, auf welcher sich das Geflügel niedergelassen hat. Indem er den schwächsten Unterschied in der Färbung der umgebenden Heide beachtet, heftet er unverwandt sein Auge, so wie er vorrückt, darauf. Ist jedoch die Nüance in der Erleuchtung nur schwach, so verliert er unfehlbar sein Ziel aus dem Gesichte, und ist die Netzhaut fähig, das Bild wieder aufzunehmen, so geschieht es nur, um es zum zweiten Male zu verlieren. — Diese Täuschung ist ebenfalls vorzüglich im Dunkeln wirksam, wenn das Licht eben hinreicht, weiße Gegenstände schwach sichtbar zu machen, welches für furchtsame oder leichtgläubige Personen eine häufige Quelle von Beunruhigung wird. Ein anderer Umstand, welcher bei theilweiser Finsterniß eintritt, unterstützt jenen Einfluß bedeutend. Die Pupille dehnt sich fast um die ganze Weite der Iris aus, um das schwache Licht, welches vorhanden ist, aufzunehmen. Es läßt sich jedoch überzeugend darthun, daß unter diesen Umständen das Auge nicht in die Lage gebracht werden kann, nahe Gegenstände deutlich zu sehen, so daß die Gestalt von Personen und anderen Gegenständen, die in diejenige Entfernung versetzt werden, in welcher wir das deutlichste Sehen derselben erwarten, unbestimmter und verwirrter werden. — Die Gespenster, welche der Beschwörer hervorruft, sind stets weiß, weil keine andere Farbe gesehen werden kann, und sie sind theils leblose Gegenstände, welche mehr Licht als andere sie umgebende zurückwerfen, oder Thiere und menschliche Wesen, deren Farbe oder Ortsveränderung sie im Dunkeln sichtbarer macht. — Nimmt das Auge trübe ein lebloses Wesen wahr, dessen verschiedene Theile verschiedene Grade von Licht zurückwerfen, so werden die glänzenderen Theile desselben ununterbrochen von dem Beschauer wahrgenommen werden. Das Verschwinden und Wiedererscheinen der schwächer erleuchteten Theile und die Veränderung der Gestalt, welche Folge davon ist, wird dem Objecte nothwendig die Gestalt eines lebenden Wesens ertheilen. Befindet es sich ferner in einer Lage, welche keine Annäherung gestattet, und wohin belebte Wesen keinen Weg finden können, so wird das Gemüth ihnen ein übernatürliches Dasein beilegen. Eben so kann eine menschliche Gestalt, die unbestimmt in einem schwachen Dämmerlichte gesehen wird, ähnliche Veränderungen erfahren; während sie, in einer günstigen Lage für Beleuchtung und Zurückwerfung des Lichtes, deutlich gesehen wurde, kann sie unter den vorher bemerkten Umständen und in dem Bereiche des Auges des Beobachters plötzlich verschwinden. Erfolgt dieses Verschwinden auf einem Pfade, wo kein Seitenweg befindlich ist, auf welchem die Gestalt entweichen konnte, so wird es dem gewöhnlichen Menschen schwer werden, den empfangenen Eindruck zu vergessen. Es fällt uns nicht ein, unter diesen Umständen einem Organe zu mißtrauen, welches uns nie getäuscht hat, und man hat allgemein als nicht zu bezweifelnde Maxime den Satz angenommen: „Sehen ist glauben;“

Digitized by Google

feſtgewurzelt in unſerer Natur, vermag eine einzelne Ausnahme nicht, ihn auszurotten. — Das im Vorhergehenden Geſagte wurde unter der Vorausſetzung ausgeſprochen, daß der Beobachter frei von Furcht und Vorurtheilen, ein treuer Dolmetſcher der Erſcheinungen iſt, welche ſich ſeinen Sinnen darbieten. Glaubt er hingegen an Erſcheinungen und iſt er unwillig, einen ſichtbaren Beweis für ihre Wirklichkeit anzunehmen, ſo iſt es nicht ſchwer, ſich das Gemälde vorzuſtellen, welches er entwerfen wird, wenn äußere Gegenſtände, in Folge der unvollkommenen Anzeigen ſeiner Sinne, verdreht und verzerrt und mit allen lebhaften Farben der Einbildungskraft ausgeſchmückt wurden."

Da von allen Sinnen das Geſicht der vorzüglichſte Sinn, das Auge das koſtbarſte Geſchenk der Natur iſt, ſo wird es nicht überflüſſig ſein, einige Bemerkungen über Erhaltung und Pflege deſſelben hier anzuführen. Beſonders nachtheilig auf die Augen iſt ein ſchneller Wechſel des Lichts und der Finſterniß, er kann unter Umſtänden völlige Erblindung zur Folge haben. So entſinne ich mich eines Falles, wo ein junger Mann wegen einer am Auge erhaltenen Verletzung, um die Heilung abzuwarten, mehre Tage mit verbundenen Augen in einer dunklen Stube hatte zubringen müſſen. Er bekam von ſeinem Arzte die Erlaubniß, den folgenden Tag zum erſtenmale wieder auszugehen. Unglücklicher Weiſe fiel in der nächſten Nacht der erſte Schnee, die Sonne ſchien blendend auf denſelben, der junge Mann trat aus dem Hauſe und — erblindete augenblicklich. So iſt es auch nachtheilig, das Bett gerade gegenüber einem Fenſter zu haben, ſo daß beim Erwachen (wenn man anders bis nach Sonnenaufgang im Bette zu ſchlafen pflegt) ſogleich das helle Tages- oder Sonnenlicht in die Augen fällt. Auch das Licht des Mondes ſoll, wenn es Schlafenden auf die Augen fällt, ſehr nachtheilige Wirkungen haben. In einem dunklen Raume ſich aufzuhalten, ja ſelbſt darin die Augen anzuſtrengen, iſt nicht eben nachtheilig, aber wohl (und dieſes ſtimmt mit dem ſchon geſagten), wenn ſtarkes Licht durch einzelne Ritzen oder Punkte einfällt. So iſt auch das helle Kerzenlicht, welches dunkle Räume theilweiſe ſehr ſtark erleuchtet, nachtheilig. Man umgibt daher Lampen mit Schirmen, namentlich Studierlampen. Hierzu ſind jedoch nicht zu empfehlen die Schirme von Blech oder irgend einem anderen ganz undurchſichtigen Stoffe, denn bei dieſen fällt ein ſehr ſtarkes Licht auf die nahe liegenden Gegenſtände, gar kein Licht dagegen auf die entfernteren, und ſo iſt das Auge, welches bald hierhin bald dorthin gerichtet iſt, einem ſteten Wechſel ausgeſetzt. Jedoch iſt es gut, daß kein Licht von der Lampe direct auf das Auge fällt. Am vorzüglichſten ſind Schirme von mattem Glaſe, oder noch beſſer von grün ſeidenem Zeuge oder auch Papiere. Ueberhaupt iſt die grüne Farbe dem Auge am angenehmſten, rothes, blendend weißes, gelbes Licht dagegen greift die Augennerven an. Krankenzimmer ſollten niemals gelb angeſtrichen ſein. Zu Fenſtervorhängen eignen ſich grüne Stoffe am beſten. Bei einer drohenden Entzündung der Augen wendet man mit Vortheil öfters wiederholtes Waſchen mit kaltem Waſſer an, ſonſt iſt es namentlich gleich nach dem Aufſtehen aus dem Bette nicht anzurathen. Dagegen pflegt man mit gutem Er-

Digitized by Google

folge bald nach dem Erwachen die Augen mit warmem Wasser zu benetzen, man muß aber dann die Augen sorgfältig abtrocknen, ehe man sie dem Einflusse der kalten Luft aussetzt.

Wenn Fig. 217. AB den gesehenen Gegenstand bedeutet, so gehen von allen Punkten dieses Gegenstandes Strahlen nach dem Auge, sammeln sich in C, der Mitte der Linse, gehen dann wieder aus einander und stellen das (verkehrte) Bild des Gegenstandes FE auf der Netzhaut des Auges dar. Von diesen Strahlen sind nur (der Einfachheit wegen) drei in der Figur gezeichnet, nämlich AF, BE von den äußersten Punkten und DG derjenige Strahl, welcher in einerlei Richtung mit der Augenaxe steht, und wenn der Gegenstand grade vor dem Auge steht, rechtwinklig auf AB und EF steht. Der Winkel ACB heißt der Gesichtswinkel, optische Winkel, Sehwinkel. Es ist leicht einzusehen, daß, wenn ein an sich kleinerer Gegenstand A′B′ näher dem Auge steht, dieser unter Umständen ein eben so großes Bild EF wie AB auf der Netzhaut des Auges geben wird. Es muß sich dann aber verhalten

$$AB : A'B' = CD : CD',$$ d. h.

die wirkliche Größe des einen Gegenstandes zu der des anderen, wie die Entfernung des ersten Gegenstandes zu der des zweiten vom Auge, vorausgesetzt, daß beide Gegenstände dem Auge gleich groß erscheinen. Das Auge hat daher nur dann ein Maß für die Entfernung des Gegenstandes, wenn seine wirkliche Größe bekannt ist, und ein Maß für die Größe des Gegenstandes, wenn seine Entfernung bekannt ist. Hieraus ist es nun erklärlich, warum Gegenstände aus großen Entfernungen so sehr viel kleiner erscheinen als sie wirklich sind oder als sie gesehen werden, wenn sich das Auge in ihrer Nähe befindet. Stellen wir uns jetzt denselben Gegenstand das einemal näher das anderemal ferner dem Auge vor, so lehrt die Betrachtung der Figur, daß bei gleicher Entfernung das Bild desto größer sein wird, je größer der Gegenstand ist, und daß, je weiter derselbe Gegenstand AB vom Auge entfernt ist, desto kleiner das Bild EF ausfallen wird, je näher, desto größer, oder es ist die Größe des Bildes der Größe des Gegenstandes direct und seiner Entfernung umgekehrt proportional. Nähert man einen Gegenstand dem Auge immer mehr und mehr, so wird der Gesichtswinkel zugleich mit dem Bilde immer größer und es tritt endlich der Fall ein, daß das Bild des Gegenstandes diejenigen Grenzen überschreitet, welche auf der Netzhaut wahrgenommen werden, entfernt man ferner den Gegenstand immer weiter vom Auge, so wird er immer kleiner und kleiner, bis er zuletzt in einem Punkte verschwindet. Die tägliche Erfahrung lehrt dieses. Einen großen Gegenstand können wir von der Ferne ganz und auf einmal nach seiner ganzen Ausdehnung überblicken, kommen wir ihm näher, so hört dieß aber auf, es bilden sich bald nur noch einzelne Theile zugleich in dem Inneren unserer Augen ab. Steigt ein Adler gen Himmel, so sehen wir anfangs den Vogel immer kleiner und kleiner werden, bald ist er nur noch ein Punkt, an dem wir noch Bewegung bemerken, bis auch diese, zuletzt auch der Punkt unsichtbar wird. Es gibt also gewisse Grenzen des Gesichts-

Digitized by Google

winkels, welche nach keiner Seite der Zunahme oder der Abnahme überſtiegen werden dürfen, wenn das vollſtändige Bild eines Gegenſtandes wahrgenommen werden ſoll. Wir haben bisher den Gegenſtand nur gleichſam im Durchſchnitt nach Einer mathematiſchen Ausmeſſung betrachtet, wir betrachteten, wenn wir von Größe ſprachen, nur die Länge, was aber von der Länge, gilt auch von der Breite, und ſo gibt der größte Geſichtswinkel, wenn man ihn ſich nach jeder Richtung im Raume geſtellt denkt, ſo daß immer ſeine Spitze in der Mitte der Linſe bleibt, das Geſichtsfeld des Auges. Man hat nun näher zu beſtimmen geſucht, welches die größte Fläche ſei, die das Auge nah zu überſchauen im Stande ſei, und welches die kleinſte. Im Allgemeinen muß bemerkt werden, daß die genauen Beſtimmungen für jedes Auge verſchieden ſein werden, und daß namentlich zu Beſtimmung des kleinſten noch ſehbaren Feldes ein bis jetzt noch nicht berückſichtigter Umſtand, nämlich die Beleuchtung in Betracht gezogen werden müſſe. Gewöhnlich wird angenommen, das Auge überſehe ein Feld, welches zwiſchen den Schenkeln eines rechten Winkels liege. Das Geſichtsfeld wird bedeutend dadurch erweitert, daß das Auge nach allen Seiten zu beweglich iſt; die Bewegung der Augenaxe nach jeder Seite beträgt 55°, die Größe des Geſichtsfeldes alſo in dieſer Beziehung nach Young 110°.

Helle und ſcharf leuchtende Gegenſtände verſchwinden, wie wir an den Fixſternen ſehen auch dann nicht, wenn ſie in unermeßlichen Fernen von uns ſtehen. Indeß erhalten wir doch auch durch die ſtärkſten Fernröhre kein Bild eines Fixſternes, welches ſich als Ebene darſtellte, ſie bleiben immer nur Punkte. Auch mit irdiſchem Lichte leuchtende Gegenſtände werden weithin geſehen, doch verſchwinden ſie, ſo wie durch die in der Atmoſphäre angehäuften Dünſte ihr Licht verdunkelt wird. Muncke meint, daß wenn im Auge ein wirkliches und meßbares Bild erzeugt werden ſolle, ſo dürfe der optiſche Winkel auch bei guter Erleuchtung ſchwerlich kleiner als 30″ ſein. Die Beleuchtung modificirt jeden in dieſer Beziehung anzuſtellenden Verſuch. Das Auge erblickt ferner auch kleine Gegenſtände aus geringer Ferne deutlicher als größere aus verhältnißmäßig größerer Entfernung. Dieß iſt ſchon eine Folge der Abnahme der Lichtſtärke mit dem Größerwerden der Entfernung. Humboldt hat beobachtet, daß auf den höchſten Bergen, wo die Luft ſehr durchſichtig iſt, ein mäßig ſtark erleuchteter Gegenſtand noch unter einem Geſichtswinkel, der kleiner als 13″ iſt, ſichtbar bleibt. Erkenntlich ſind ſehr dünne oder kleine Gegenſtände noch, wenn man ſie gegen vieles Licht hält, bis zu einem ausnehmend kleinen Geſichtswinkel. Muncke führt an: nach Leuwenhök geben 18000 Spinnenfäden die Dicke eines Barthaares. Man wird ſich daher von der Wahrheit nicht ſehr entfernen, wenn man annimmt, daß von den feinen Spinnenfäden in optiſchen Inſtrumenten (zu Fadenkreuzen) zehn auf den Durchmeſſer der gleichfalls in dieſelben wohl eingezogenen Silberfäden gehen, deren Durchmeſſer nach Meſſungen $\frac{1}{10}$ par. Lin. beträgt. Solche Spinnenfäden, in einer Entfernung von 10 Zoll ſichtbar, haben einen optiſchen Winkel von 4″,7 und wenn man annimmt, daß ein ſcharfes Auge einen ſolchen auf 5 Fuß Entfernung ſieht, ſo beträgt der optiſch

Digitized by Google

Winkel nahe 0″,8. Das scheinbare allmählige Kleinerwerden bis zum Verschwinden derselben Größe mit zunehmender Entfernung vom Auge, bemerkt man besonders auffallend an einer langen Allee. Hier stehen die gegenüberstehenden Bäume stets gleich weit von einander ab, dennoch nimmt für das Auge des an einem Ende der Allee sich befindenden Beobachters die Entfernung der gegenüberstehenden Bäume von einander ab, so wie die Entfernung dieser Bäume von seinem Auge selbst größer wird: die Allee erscheint nicht als zwei parallel laufende Baumreihen, sondern diese Reihen oder Linien convergiren, so daß die Allee weiter ab vom Auge immer schmäler wird, bis beide Linien in Eine zusammenlaufen.

Auf den so eben angeführten Erscheinungen beruhet die ganze Lehre von der Perspective, ohne welche eine wahre Maler- und Zeichenkunst nicht möglich ist. Die sich räumlich ausdehnende Außenwelt macht auf der Netzhaut unseres Auges ein Bild, auf welchem die Nähe und Ferne nur durch die unterschiedene Größe an sich gleich großer Gegenstände, so wie durch größere oder geringere Helle sich ausdrückt, und eben so muß auch die Welt auf dem Papiere oder der Leinewand wiedergegeben werden. Die Vorstellung des Menschen, welcher nicht darauf geübt ist, die perspectivischen Verhältnisse zu beachten, mischt sich in die Sinnenwahrnehmung in der Art ein, daß, wenn wir z. B. wissen, daß ein entfernter Gegenstand größer als ein naher ist, es nicht in das Bewußtsein tritt, daß, wie es den Augenschein hat, der fernere größere Gegenstand kleiner sei als ein naher kleinerer. Wir sehen z. B. einen Berg hinter einem Kirchthurme, so erscheint uns, die wir vor dem Thurme stehen, dieser vielleicht größer als der Berg, aber wir haben dennoch nur das Bewußtsein, daß der Berg bei weitem höher als der Thurm sei. Der erfahrene Mensch ist daher den Gesichtstäuschungen in Bezug auf irdische Gegenstände bei weitem weniger ausgesetzt als der unerfahrne, das Kind; überhaupt ist bei jenem der Verstand, bei diesem die unmittelbare Sinneneinwirkung lebendiger im Bewußtsein. Führen wir zugleich einen Mann und ein Kind auf einen Thurm, und sehen die Menschen von oben an, die uns verkleinert erscheinen, so wird dieses dem Kinde sogleich auffallen, es wird uns schwer fallen, das Kind glauben zu machen, daß die gesehenen erwachsene Menschen sind, dem Manne werden wir eben so schwer ins Bewußtsein bringen können, daß ihm wirklich die Menschen wie Kinder erscheinen.

Noch haben wir in unseren Augen ein Mittel, die Entfernung eines Gegenstandes zu beurtheilen. Gesetzt bei A (Fig. 218.) sei das eine Auge, bei B das andere, und bei D befinde sich der mit beiden Augen betrachtete Gegenstand, oder es sei vielmehr D ein Punkt dieses Gegenstandes selbst; so gehen von D aus (und so von jedem Punkte des Gegenstandes) Strahlen in der Richtung der Augenaxen DA und DB nach den Augen. Diese Verlängerungen der Augenaxen schneiden sich in einem gewissen Winkel ADB, und die Größe dieses Winkels ist abhängig von der Entfernung des Gegenstandes. Rückt z. B. der Gegenstand näher, etwa nach E, so wird der Winkel, den beide Augen mit einander machen, AEB größer. Im Allgemeinen gilt der Satz,

Digitized by Google

die Entfernungen verhalten ſich umgekehrt wie die Größen der Winkel, welche beide Augenaxen mit einander machen. Von Jugend auf gewöhnen wir uns ſo die Entfernungen der Gegenſtände nach den Richtungen zu ſchätzen, in welche beide Augenaxen bei Betrachtung eines Gegenſtandes geſtellt werden. Doch iſt leicht einzuſehen, daß eine derartige Schätzung nur innerhalb ſehr geringer Grenzen ſtattfinden kann, bei weiteren Entfernungen nämlich wird der Winkel ADB ſo ſpitz, daß beide Augenaxen als parallel anzunehmen ſind. Endlich kann auch noch die Adjuſtirung der Augen (ſ. oben) eine unmittelbare Vorſtellung von der Entfernung der Gegenſtände geben. Porterfield ſtellt folgende Mittel zuſammen, welche dienen, die Entfernung eines Gegenſtandes zu beſtimmen.

1) Die Einrichtung, welche ſich das Auge geben muß, um die Gegenſtände deutlich zu ſehen, es mag dieſe beſtehen worin ſie wolle. Vorzüglich dient dieſes für kleine Entfernungen, kommt aber auch bei größeren in Anwendung, ſo lange ſich das Auge für dieſelben noch einrichten muß, und erſt dann, wenn die Objecte ſo weit entfernt ſind, daß die auf das Auge fallenden Strahlen für parallel gelten können, verſchwindet überhaupt die deutliche Vorſtellung von der Entfernung.

2) Der Winkel beider Augenaxen gibt eines der ſicherſten Hülfsmittel, deſſen Mangel bei Einäugigen und ſtark Schielenden ſich auffallend zeigt. Hängt man einen Ring auf, ſtellt ſich gegen die Kante deſſelben und verſucht mit einem gekrümmten Stabe die Oeffnung zu treffen, ſo iſt dieſes leicht beim Gebrauche beider Augen, ſchwer, wenn man eins verſchließt oder entbehrt. Indeß reicht dieſes Mittel höchſtens bis zur Entfernung von 120 Fuß.

3) Die ſcheinbare Größe, jedoch bloß dann, wenn die wahre bekannt iſt. Kennen wir die letztere gar nicht, ſo fällt meiſtens die genäherte Beſtimmung der Entfernung ganz weg, weßwegen uns Sonne und Mond gleich fern erſcheinen, und Berge in der Regel näher als ſie ſind, weil wir ihre wirkliche Größe zu gering ſchätzen und ſie hiernach des großen optiſchen Winkels wegen zu nahe glauben.

4) Die Helligkeit und Lebhaftigkeit der Farben. Indem nämlich das Licht bei ſeinem Durchgange durch die Luft verliert, ſo werden alle Gegenſtände blaſſer und dunkler, je weiter ſie entfernt ſind. Daher ſcheinen uns Sonne und Mond im Horizonte größer, weil wir ſie für entfernter halten; ein Zimmer mit friſchgeweißten Wänden ſcheint kleiner, beſchneiete Berge ſcheinen näher und im Nebel verändern ſich Größe und Entfernung aller Umgebungen auffallend. Hierauf beruht die Luftperſpective der Maler.

5) Hiermit zuſammenfallend iſt die Deutlichkeit der kleinſten Theile, indem wir durch Uebung wiſſen, daß dieſe bei größerer Entfernung ganz verſchwinden.

6) Endlich beſtimmen wir ſowohl die Entfernung als auch die Größe der verſchiedenen Objecte nach der mehr oder minder bekannten Größe und Entfernung derjenigen Gegenſtände, welche ſie umgeben. Ein einzelner entfernter Kirchthurm in einer weiten Ebene ſcheint daher näher, als wenn mehre Oerter dazwiſchen liegen, und entfernter, als

Digitized by Google

wenn irgend ein Gegenstand die zwischenliegenden Räume verdeckt; die Sonne im Horizonte scheint entfernter als im Zenith, und daher bei gleichbleibendem optischen Winkel auch größer, überhaupt aber die Entfernung des Himmelsgewölbes im Horizonte drei- bis viermal größer, als im Scheitel, und bildet somit nach Smith und Lambert eine nach der Muschellinie gekrümmte Figur.

Indem wir auf einen Gegenstand hinsehen, verdeckt derselbe diejenigen Gegenstände, welche von der Verlängerung der Augenare getroffen werden würden, wenn jener Gegenstand nicht vorhanden wäre. Auf dem Gemälde auf der Netzhaut nimmt der gesehene Gegenstand also einen Ort ein, welchen ein anderer Gegenstand einnehmen würde, welcher jetzt von dem ersten bedeckt ist. Der Ort, welchen hiernach ein Gegenstand im Verhältnisse der anderen mit ihm zugleich gesehenen Gegenstände einnimmt, heißt der optische Ort desselben. Es läßt sich dieses auch so vorstellen. Gesetzt DE (Fig. 219.) sei eine Ebene (in der Wirklichkeit erscheint als eine solche das ganze Gesichtsfeld), c ein Gegenstand vor derselben und in A sei der Beobachter, so erscheint für diesen der Gegenstand c auf dem Punkte a der Fläche, und a ist der (scheinbare) optische Ort des Gegenstandes c auf der Ebene DE. Befände sich nun aber der Beobachter in B, so würde derselbe Gegenstand c für ihn seinen optischen Ort in b haben. Der optische Ort ändert sich folglich wie sich die Stellung des Beobachters ändert. Die Weite, um welche die Ortsveränderung hierbei geschieht, also im vorliegenden Falle ab, heißt die Parallaxe (griech., Veränderung) des Gegenstandes. Der optische Ort unterscheidet sich von dem scheinbaren nur dadurch, daß man bei Angabe des ersteren weiß, daß der Gegenstand nicht in derselben Ebene liegt, in welcher sich die übrigen den Ort durch die Stellung gegen ihn bestimmenden Gegenstände befinden. Wer dem äußeren Anscheine nach den Himmel für ein Gewölbe hält, an welches die Sterne, glänzende Punkte befestigt sind, für den sind die scheinbaren Orte z. B. zweier Zwillingssterne dicht bei einander, während wir wissen, daß diese scheinbaren nur die optischen Orte der Sterne sind, daß die Sterne aber noch Millionen Meilen von einander entfernt sein können.

Schon im Vorhergehenden sind mehre Arten eigenthümlicher Gesichtstäuschungen (Augentäuschungen, optische Täuschungen, Gesichtsbetrüge) angeführt worden. Sie haben ihren Grund in der falschen Erklärung, die wir einer Gesichtserscheinung unter gewissen dieselbe veranlassenden Umständen geben. Eine der merkwürdigsten dieser Täuschungen ist diejenige, durch welche uns Vertiefungen als Erhöhungen und Erhöhungen als Vertiefungen erscheinen, oder wodurch Cameen in Intaglio's, Intaglio's in Cameen verwandelt werden. Brewster gibt folgende interessante Erörterungen hierüber. Diese merkwürdige Thatsache scheint zuerst in einer der früheren Sitzungen der Königl. Societät zu London bemerkt worden zu sein, wo eines der Mitglieder, welches eine Guinee durch ein zusammengesetztes Mikroskop von neuer Construction betrachtete, überrascht wurde, den Kopf auf der Münze vertieft zu erblicken, während andere Mitglieder ihn in seiner

Digitized by Google

eigentlichen erhabenen Geſtalt ſahen. — Gmelin zu Tübingen bemerkte bei ſeiner Beſchäftigung mit Teleſkopen und Mikroſkopen dieſelbe Thatſache. Die hervorragenden Theile der Gegenſtände erſchienen ihm vertieft, die vertieften erhaben. Was ihn jedoch ungemein verwirrte, war der Umſtand, daß dieſe Täuſchung zu gewiſſen Zeiten ſtattfand, zu anderen nicht, bei einigen Beobachtungen und nicht bei anderen, einigen Augen erſchien, anderen aber nicht. — Nach Anſtellung einer großen Anzahl von Beobachtungen kam Gmelin zu folgenden Reſultaten: So oft er einen Gegenſtand, der ſich über eine Ebene erhob, anblickte, ſeine Farbe mochte ſein welche ſie wollte, wofern er nur nicht weiß oder glänzend war, und wenn das Auge und die Augenaxen dem Gegenſtande direct gegenüber ſtanden, erſchienen die erhabenen Theile vertieft, die vertieften erhaben. Dieß ereignete ſich, wenn er ein Siegel betrachtete, und ſo oft er die Röhre des Teleſkops ſenkrecht hielt, und dem Gegenſtande die Lage gab, daß er die Oberfläche des letzten Glaſes der Röhre faſt ganz bedeckte. Derſelbe Erfolg ereignete ſich, wenn ein zuſammengeſetztes Mikroſkop angewendet wurde. Hing das Object ſenkrecht von einer Ebene herab und wurde die Röhre horizontal unterſtützt und ihm direct gegenüber geſtellt, ſo fand die Täuſchung ebenfalls ſtatt; auch wurde das Anſehen nicht verändert, wenn das Object ſchief, ja wenn es horizontal hing. Zuletzt glückte es Gmelin, ein Verfahren auszumitteln, dieſer Täuſchung zu begegnen. Es beſtand darin, nicht nach dem Mittelpunkte der Convexität, ſondern zuerſt nach dem Rande zu ſehen und nach und nach das Ganze zu überblicken. Den Grund, warum es ſich ſo verhielt, wagt er jedoch nicht anzugeben. — Am beſten gelingt es, dieſe Täuſchung wahrzunehmen, wenn man ein Petſchaft mit dem Theile eines Fernrohrs, in welchem ſich das Augenglas befindet, oder mit einem zuſammengeſetzten Mikroſkope, oder irgend einer Verbindung von Linſen, welche die durch dieſelben geſehenen Gegenſtände umkehrt, betrachtet. Das Vertiefte des Petſchafts erſcheint ſogleich als Erhabenheit, wie der davon in Siegellack gemachte Abdruck. Obgleich wir wiſſen, daß es vertieft iſt, wir mit unſerer Fingerſpitze die Vertiefung fühlen, ſo iſt doch die Täuſchung ſo groß, daß es fortfährt, als Hervorragung zu erſcheinen. Den Grund hiervon legt Fig. 220. dar, in welcher S das Fenſter des Zimmers oder das Licht, welches das vertiefte Petſchaft LR erleuchtet, vorſtellt, deſſen beſchattete Seite ſich demnach auf derſelben Seite L mit dem Lichte befindet. Wird nun mittelſt einer oder mehrer Linſen das Siegel umgekehrt, ſo daß es in der entgegengeſetzten Richtung erſcheint, ſo wird es ſich dem Auge ſo darſtellen, wie Fig. 221. es angibt, und die beſchattete Seite L wird von dem Orte, wo das Licht herkommt, am weiteſten entfernt ſein. Wir wiſſen jedoch, daß das Fenſter ſich fortwährend zu unſerer Linken befindet und daß das Licht in der Richtung RL einfällt, und da jeder Körper, der mit ſeiner beſchatteten Seite am entfernteſten vom Lichte iſt, nothwendig convex oder hervorragend ſein muß, ſo halten wir ſogleich das vertiefte Petſchaft für eine Camee oder für ein Basrelief. Der Beweis, den das Auge dadurch zu bekommen glaubt, daß das Siegel erhaben ſei, überwiegt das Zeugniß, daß unſere wirkliche

Digitized by Google

Kenntniß des Gegenstandes, und der Sinn des Gefühls dafür ablegen, daß es vertieft sei. Bei diesem Versuche entspringt die Täuschung daraus, daß man die wahre Richtung des Lichtes, welches auf das Siegel fällt, kennt; denn wäre die Stellung des Fensters, in Beziehung auf das Siegel, eben so wie dieses umgekehrt worden, so hätte die Täuschung nicht stattfinden können. — Um der gegebenen Erklärung einen noch höheren Grad der Deutlichkeit zu verschaffen, nehme man an, das Siegel LR Fig. 220. werde durch die Kerze S, deren Stellung nach Belieben verändert werden kann, erleuchtet. Wird LR umgekehrt, so verwandelt es sich in eine Camee, wie in Fig. 221. Wird nun ein zweites Licht D auf der anderen Seite davon wie in Fig. 222. angebracht, so wird das vertiefte Siegel von allen Seiten gleichförmig erleuchtet werden und wird zu einem vertieften Körper oder einem Intaglio einsinken. Erleuchten beide Kerzen das Siegel nicht gleichförmig oder veranlaßt ein zufälliger Umstand den Glauben, daß sich das Licht ganz oder doch dem größten Theile nach auf einer Seite befinde, so wird das Gemüth eine entsprechende Meinung in Hinsicht des Zustandes des Siegels hegen. Es wird dasselbe für vertieft halten, wenn es glaubt, das Licht komme ganz oder größtentheils von der Rechten, und für eine Camee, wenn es glaubt, das Licht falle von der Linken ein. Bedient man sich eines kleinen Fernrohrs zum Umkehren des Siegels und bedeckt man die Kerze bis auf die Flamme ganz; trifft man ferner die Anstalt, daß das Licht zugleich mit dem Bilde umgekehrt werden kann, so wird das Siegel fortwährend vertieft erscheinen, indem der Schatten sich mit dem erleuchteten Körper auf derselben Seite befindet. Wiederholt man denselben Versuch mit dem erhabenen Abdruck des Siegels in Siegellack, so bemerkt man genau dieselben Erscheinungen. Der Abdruck erscheint vertieft, wenn er allein umgekehrt wird, erscheint fortwährend erhaben, wenn das Licht zugleich mit umgekehrt wird. Die Täuschung, von welcher im Vorhergehenden die Rede war, ist demnach das Resultat einer Operation unseres eigenen Gemüthes, welches die Gestalten der Körper nach der Kenntniß, welche wir von Licht und Schatten erhalten haben, beurtheilt. Die Täuschung hängt demnach von der Genauigkeit und Ausdehnung unserer Kenntnisse über diesen Gegenstand ab, und während einige Personen unter ihrem Einflusse stehen, so sind andere davon gänzlich unabhängig. Ist das Siegel oder sind die vertieften Züge nicht polirt, sondern matt, und ist die Fläche rund umher von gleichförmiger Farbe und Glätte, so wird fast jede Person dieser Täuschung unterworfen sein. Denn Allen ist es bekannt, daß der Schatten eines vertieften Körpers stets auf der Seite zunächst dem Lichte, der einer Hervorragung auf der dem Lichte entgegengesetzten Seite liegt. War jedoch der Gegenstand der erhabene Abdruck eines Petschaftes in Siegellack, so fand ich, daß, wenn er umgekehrt wurde, er stets den drei jüngsten von sechs Personen, die sich in einer Gesellschaft befanden, erhaben erschien, während die drei ältesten der Täuschung unterworfen waren. Diese Täuschung läßt sich durch Vernunftgründe, die durch Einführung eines neuen Umstandes in den Versuch sich darbieten, heben. Es sei RL Fig. 223. das umgekehrte Siegel,

Digitized by Google

welches natürlich erhaben erſcheint; man ſtelle nun eine undurchſichtige unpolirte Nadel an einer Seite des Siegels auf. Der Schatten muß nothwendig eine dem Lichte entgegengeſetzte Lage wie in B haben. In dieſem Falle wird das Siegel, welches durch ſeine Umkehrung eine Camee geworden war, jetzt durch Einführung der Nadel und ihres Schattens zu einer Vertiefung einſinken. Denn da die Nadel und der Schatten umgekehrt ſind, wie dieſes Fig. 224. zeigt, während die Kerze ihren Platz behält, ſo iſt der Schatten der Nadel, welcher die Richtung A B hat, ein ſtärkerer Beweis für das Auge, daß das Licht von der Rechten herkomme, als die wirkliche Ueberzeugung, daß das Licht ſich linker Hand befinde. Dem zufolge ſinkt die Camee zu einem Intaglio ein, und der Schatten iſt jetzt mit dem Lichte auf derſelben Seite. Dieſer Verſuch erläutert es, wie in manchen Fällen ein ſcharfer Beobachter der Täuſchung entgehen könne, während alle anderen derſelben hingegeben ſind. Wir wollen annehmen, daß etwas Staub oder ein kleines Theilchen Siegellack an der Oberfläche der Siegels klebe, wodurch ein Schatten bewirkt werden kann, ſo wird ein gewöhnlicher Beobachter dieſes unbeachtet laſſen, oder entginge ihm dieſer Umſtand nicht, ſo würde er weiter keine Folgen daraus ziehen; ihm wird demnach der vertiefte Kopf des Petſchaftes als Camee erſcheinen. Der aufmerkſame Beobachter hingegen, von welchem die kleine Erhöhung wahrgenommen wurde, und der bemerkte, daß der Schatten derſelben linker Hand hin fällt, wird augenblicklich ſchließen, daß das Licht von dieſer Seite komme und wird das Siegel vertieft ſehen. — Es wurde ſchon bemerkt, daß in einigen Fällen ſogar der Sinn des Gefühls die irrige Wahrnehmung nicht verbeſſert. Wir fühlen demnach, daß der Theil des Vertieften, auf welchem der Finger ruht, wirklich vertieft ſei; blicken wir jedoch nach einer anderen Stelle des Vertieften, ſo erſcheint ſie uns erhaben. Bedient man ſich zweier Kerzen von ungleicher Lichtſtärke, in Hinſicht deren eine Ungewißheit obwaltet, von welcher Seite das Licht kommt, ſo können wir die Täuſchung in einem beliebigen Grade ſchwächen, ſo daß ſie durchs Gefühl oder durch Vernunftgründe überwältigt wird. Ich habe Gelegenheit gehabt (ſagt Brewſter), eine Reihe analoger Erſcheinungen zu beobachten, welche aus derſelben Urſache entſpringen, allein ohne ein Werkzeug, durch welches das Object umgekehrt wird, veranlaßt werden. Iſt A B eine Platte von Perlmutter und L R eine kreisförmige oder anders geſtaltete Höhlung (Fig. 225.), die eingeſchliffen oder durch Drechſeln hervorgebracht wurde, und läßt man auf dieſe Höhlung das Licht einer Kerze oder eines Fenſters von S her fallen, ſo bemerkt man keinen Schatten, welchen der dem Lichte nächſte Rand der Vertiefung bei L wirft, wie dieß doch der Fall hätte ſein müſſen, wäre der Körper undurchſichtig. Vielmehr wird eine Menge glänzendes zurückgeſtrahltes Licht an dem Orte erſcheinen, wo ein Schatten hätte ſein ſollen. Der übrige Theil der Vertiefung wird verhältnißmäßig dunkel erſcheinen, als wenn er ſich im Schatten befände. Die nothwendige Folge hiervon iſt, daß die Höhlung dem unbewaffneten Auge als eine Erhabenheit erſcheinen werde, indem nur eine erhabene Fläche ihre am ſtärkſten erleuchtete Seite in L haben kann.

Digitized by Google

Aehnliche Täuschungen finden bei gewissen Stücken polirten Holzes, Chalcedons und Perlmutter statt, deren Oberfläche vollkommen glatt ist. Dieß entsteht daher, daß an dieser Stelle ein Knötchen oder ein Auswuchs ist, der einen anderen Grad von Durchsichtigkeit hat, als die umgebenden Theile. Den Grund hiervon wird man aus Fig. 226. ersehen. — Es sei mo die Oberfläche einer Mahagony-Tischplatte, AmoB ein Durchschnitt der Tischplatte und mno ein Durchschnitt von einem Knoten, der durchsichtiger als der Ueberrest der Masse ist. Die Durchscheinenheit der dünnen Kante bei o, welche dem Lichte S entgegengesetzt ist, macht, daß die Seite o erleuchtet wird, während der übrige Theil des Knotens verhältnißmäßig dunkel ist, so daß, den bereits angegebenen Gründen zufolge, die Stelle mno eine Vertiefung in der Tischplatte zu sein scheint. Aus dieser Ursache entsteht die Erscheinung von Grübchen in manchen Platten von Chalcedon, der gehämmerter Chalcedon genannt wird und bei dem man geneigt sein möchte zu glauben, es wären durch Hammerschläge die Grübchen hervorgebracht worden. Die Oberfläche, auf welcher man diese Vertiefungen erblickt, ist ein Durchschnitt kleiner sphärischer Aggregate kieselerdiger Materie, welche dieselben Erscheinungen zeigen, wie die Höhlungen im Holze. Perlmutter zeigt dieselben Erscheinungen, und sie kommen so häufig bei dieser Substanz vor, daß es fast unmöglich ist, einen Knopf oder eine Spielmarke aus Perlmutter zu finden, deren Oberflächen vollkommen eben erschienen, ungeachtet, durch das Gefühl untersucht, sie es vollkommen sind. Es rührt von der verschiedenen Zurückstrahlung des einfallenden Lichtes von den verschiedenen Erhöhungen (growths) der Perlmutterschale her, welche von der künstlichen Oberfläche in verschiedenen Richtungen durchschnitten wurden, wie die Jahrringe des Holzes bei einem zugerichteten Brete, wodurch die Oberfläche nothwendig ein ungleiches wellenförmiges Ansehen erhalten muß.

Die Netzhaut besitzt die Eigenschaft, den Eindruck, welchen das Licht auf sie macht, noch eine Zeitlang zurückzuhalten, nachdem das Licht, welches diesen Eindruck hervorgebracht hatte, schon aufgehört hat die Netzhaut überhaupt oder an der früheren Stelle zu treffen. Wir sehen daher einen leuchtenden Kreis, wenn ein glühender oder brennender Körper herumgeschwungen wird, feurige Meteore (z. B. Leuchtkugeln-Sternschnuppen) lassen einen feurigen Schweif hinter sich, und der Blitz, welcher mit so großer Geschwindigkeit seinen Weg von der Gewitterwolke nach der Erde zurücklegt, erscheint der ganzen Länge dieses Weges nach als feurige gezackte Linie. Auf dieser Eigenschaft der Netzhaut beruht der Umstand, daß man einen Gegenstand an mehren Stellen des Raumes zu gleicher Zeit erblicken, und zu gleicher Zeit die zwei entgegengesetzten Seiten desselben Gegenstandes, oder zwei Gemälde, welche sich auf den entgegengesetzten Seiten desselben Kartenblattes befinden, sehen kann. D'Arcet fand, daß der Eindruck des Lichtes noch $\frac{1}{8}$ Secunde, nachdem der leuchtende Gegenstand entfernt worden, fortdauere. Hierauf beruht der von de Paris erfundene Thaumatrop (griech. v. θαῦμα Wunder und τρέπω wenden, drehen). Brewster beschreibt ihn wie folgt. Er besteht aus einer Anzahl kreisförmiger

Digitized by Google

Scheiben von Kartenpapier von zwei bis drei Zoll Breite, die vermittelſt ſeidener, an den entgegengeſetzten Punkten der Scheiben angebrachter Fäden, durch den Vorderfinger und Daumen in eine ſehr ſchnelle Bewegung verſetzt werden können. Auf jeder Seite der kreisförmigen Scheibe befindet ſich der Theil eines Gemäldes oder verſchiedene Theile derſelben Figur, ſo daß dieſe Theile, wofern wir ſie zu gleicher Zeit ſehen könnten, entweder eine Gruppe oder eine ganze Figur bilden würden. So iſt Harlequin z. B. auf einer Seite, Columbine auf der anderen abgebildet. Beim Umdrehen der Scheibe erſchienen beide in der gewöhnlichen Art ihrer Verbindung. Auf der einen Seite befindet ſich der Leib eines Türken, auf der Rückſeite ſein Kopf, durch das Umdrehen der Scheibe wird der Kopf wieder auf die Schultern des Rumpfes geſetzt. — Auf den Grund dieſer Täuſchung laſſen ſich mehre andere Vorrichtungen gründen. Ein Theil eines Satzes kann auf eine Seite der Scheibe, der andere auf die Rückſeite derſelben geſchrieben werden. Beſondere Briefe können auf die eine Seite, andere auf die entgegengeſetzte, auch Hälften oder Theile eines Briefes auf die eine, das Fehlende auf die andere geſchrieben werden; oder man kann alle dieſe Abänderungen vereinigen, ſo daß der Sinn derſelben nur dann verſtanden werden kann, wenn die getrennten Theile durch das Umdrehen der Scheibe vereinigt werden. — Macht man die ſich umdrehende Scheibe durchſichtig, ſo daß jenſeits befindliche Gegenſtände ſich durch dieſelben hindurch ſehen laſſen, ſo wird man der Täuſchung eine weit größere Ausdehnung geben können, indem man in das Gemälde andere Geſtalten, entweder belebte oder unbelebte, aufnimmt. So könnte man z. B. die untergehende Sonne in eine Landſchaft bringen; ein Theil der Flamme eines Feuers könnte als aus dem Krater eines Vulkans hervorbrechend, und Vieh auf einer Weide graſend als Theile der durch die Umdrehung der Scheibe gebildeten Landſchaft dargeſtellt werden. Für dieſe Zwecke würde jedoch die Einrichtung des Werkzeuges eine durchgängige Veränderung erleiden müſſen, und die Umdrehung müßte um eine ſtehende Are durch Räder und Getriebe geſchehen; auch müßte ein Schirm mit Oeffnungen oder offenen Abtheilungen an der Vorderſeite der umzudrehenden Scheibe ſich befinden, welche die Hauptfiguren erſcheinen laſſen.

Hierher gehört auch eine Augentäuſchung, auf welche erſt in neuerer Zeit aufmerkſam gemacht worden iſt und von der Roget eine erläuternde Darſtellung gegeben hat. Wenn man durch ein Gitter von horizontalen, am beſten ſchwarzen, nicht weiter von einander entfernten Stäben, als daß mindeſtens drei auf die Länge einer Radſpeiche gehen, ein um ſeine Are gedrehtes und zugleich in horizontaler Richtung bewegtes Wagenrad betrachtet, oder wenn das Rad um ſeine Are gedreht und das Gitter in horizontaler Richtung bewegt wird, ſo erſcheinen die zwei Speichen, welche ganz zwiſchen die Oeffnung der Stäbe fallen, gerade, alle übrigen aber nehmen die in der Zeichnung (Fig. 227.) ausgedrückte Krümmung an. Die Erſcheinung tritt erſt ein, wenn die Bewegung des Rades eine gewiſſe Geſchwindigkeit erreicht hat, dann aber iſt die Krümmung auch bei zunehmender Geſchwindigkeit ſich ſtets

Digitized by Google

gleich bleibend, jedoch darf die letztere nicht so groß werden, daß die Unterscheidung der einzelnen Speichen verschwindet, auch sind die beiden angegebenen vereinten Bewegungen nothwendig, wenn das Phänomen eintreten soll. Roget construirt dann die Erscheinung sehr einfach geometrisch. Ist nämlich die Bewegung des Rades in der Richtung PQ und findet zugleich eine Rotation um die Axe O statt (Fig. 228.), bezeichnen ferner die Linien A; B; C; .... die Richtungen, in denen die Orte, welche die einzelnen Theile der Speichen optisch einnehmen, durch die Zwischenräume der lothrechten Stäbe gesehen werden, stellen RO und OY zwei einander diametral gegenüberstehende Speichen vor, welche bei der Bewegung durch die Räume A_1; B_2; C_3.... in die Lagen a; b; c..... kommen, dauert endlich der Lichteindruck des Speichentheiles auf das Auge in seiner Lage bei R so lange fort, bis der nächste Theil der Speiche bei a; der nächste bei b, der nächste bei c..... gesehen wird, so muß die Speiche diejenige Krümmung erhalten, welche durch die Intersectionspunkte gegeben wird, also die Figur der Curve R; a; b; c..... annehmen. Indem auf der anderen Seite des Rades der nämliche Fall, jedoch die Richtung betreffend entgegengesetzt, eintritt, so folgt, daß in VW die Speichen gerade, auf beiden Seiten aber entgegengesetzt gekrümmt erscheinen müssen.

Eine Menge hier nicht erwähnter Augentäuschungen werden in anderen Artikeln erwähnt, vergl. z. B. Farbe, Anamorphosen, Cylinderspiegel. Eine eigene Klasse machen die Luftspiegelungen aus und alle diejenigen Täuschungen, welche mit Hülfe von Spiegeln und Linsen hervorgebracht werden.

Gewicht eines Körpers heißt die Kraft, mit welcher ein Körper auf einen unter ihm befindlichen anderen Körper drückt. Die Ursache des Gewichtes ist die Schwere. In Bezug auf diese sind wir berechtigt anzunehmen (s. d. Art. Fall), daß jeder Körper aus einer größeren oder geringeren, mehr oder weniger zusammengedrängten Menge Massentheilchen besteht, und daß alle diese Massentheilchen unter sich gleich schwer sind. Aus je mehr Massentheilchen ein Körper besteht, ein desto größeres Gewicht hat derselbe. Das absolute Gewicht ist die allgemeine Angabe der Kraft, welche ein Körper zufolge der gesammten in ihm enthaltenen Massentheilchen auf einen ihm zur Grundlage dienenden Körper ausübt. Um dieß Gewicht auszudrücken, hat man in jedem Lande fast ein anderes bestimmtes Gewicht als Einheit angenommen, und drückt nun das Gewicht jedes Körpers dadurch aus, daß man angibt, wie vielmal das Gewicht desselben größer als das angenommene bekannte Gewicht sei. Diese Bestimmung selbst geschieht mittelst der Waage (s. d. Art.). *) Da es darauf ankommt, die Verhältnisse der verschiedenen in den verschiedenen Ländern zu Grunde gelegten Gewichte genau zu kennen, so theile ich folgende tabellarische Zusammenstellung nach Baumgartner mit.

*) S. dort auch über Form und Materie der vorzugsweise Gewichte genannten Körper, deren man sich bei der Wägung bedient.

Name des Ortes und des Gewichtes.*)	Enthält	
	Wiener Pfund.	Kilogramme.
Aarau: Handelsgewicht Pfund = $\frac{1}{100}$ Centner	0.850677	0.476389
Aleſſandria: Pfund = $\frac{1}{217}$ Rubo = 12 Oncie = 96 Ottaves = 288 Denari = 6912 Grani	0.658929	0.369008
Alicante: Pfund (großes) = 12 Onças = $\frac{1}{100}$ Cargo	0.925871	0.518499
" kleines Pfund = 12 Onças	0.617247	0.345666
" caſtilianiſches Pfund = 16 Onças	0.822997	0.460888
Altenburg: Pfund	0.833002	0.466491
Altona: Pfund	0.864914	0.484362
Ancona: Pfund = 12 Once	0.590648	0.330770
Appenzell: ſchweres Pfund	1.043635	0.584448
" leichtes Pfund	0.830172	0.464906
Barcellona: Pfund = 12 Onças	0.730333	0.408995
Baſel: Pfund = 32 Loth	0.874100	0.489506
Berlin: Pfund	0.835181	0.467711
Bern: Pfund = 16 Unzen = 32 Loth = 128 Quintl = 512 Pfennig	0.928784	0.520130
Bilbao: Pfund	0.874647	0.489813
Bologna: Pfund = 12 Onces = 192 Ferlini = 1920 Carati = 7680 Grani	0.646652	0.362133
Bozen: Pfund	0.894554	0.500961
Braunſchweig: Pfund	0.834500	0.467330
Bremen: Pfund	0.890159	0.498500
Bukareſt: Occa = 4 Littre = 400 Dram	2.301701	1.288980
Cagliari: Pfund = $\frac{1}{100}$ Cantarello	0.715811	0.400863
Canea: Pfund (Rottel)	1.002658	0.561501
Carlsruhe: Pfund	0.892838	0.500000
Caſſel: Pfund	0.864350	0.484046
Coburg: Pfund	0.910170	0.509706
Cöln: Mark = 16 Loth = 64 Quintl = 256 Pfennig = 512 Heller = 4352 Eſchen = 65536 Reichspfennigstheile	0.426241	0.238700
Conſtantinopel: Rottel	1.138999	0.637853

*) Dasjenige Gewicht iſt in jedem Lande das herrſchende, welches unter dem Namen der Hauptſtadt des Landes angegeben iſt.

Digitized by Google

Name des Ortes und des Gewichtes.	Enthält	
	Wiener Pfund.	Kilogramme.
Constantinopel: Quintal = Cantaar = 117½ Rottel	133.642527	74.841486
Copenhagen: Pfund = 2 Mark = 16 Unzen = 32 Loth = 128 Quart = 512 Ort	0.891637	0.499322
Corunna: schweres Pfund = 20 Unzen	1.026025	0.574586
" leichtes Pfund = 16 Unzen	0.820820	0.459669
Cracau: Pfund	0.724638	0.405806
" Stein	23.188406	12.985785
Darmstadt: Pfund	0.892838	0.500000
Dresden: Pfund	0.834710	0.467448
Ferrara: Pfund = 12 Unzen = 192 Ferlini = 1920 Carati	0.605727	0.339214
Florenz: Pfund = 12 Oncie = 288 Denari = 6912 Grani	0.606264	0.339515
Frankfurt a. M.: schweres Pfund	0.902322	0.505311
" " " leichtes Pfund	0.835483	0.467880
Freiburg: Pfund	0.943973	0.528636
Fulda: Pfund	0.911302	0.510340
Genf: großes Pfund	0.983443	0.550740
" kleines Pfund	0.819536	0.458950
Genua: großes Pfund	0.622897	0.348830
" kleines Pfund	0.566274	0.317120
" Pfund zur Seide	0.612591	0.343058
Glarus: schweres Pfund	0.941376	0.527182
" leichtes Pfund	0.836788	0.468611
Gotha: Pfund	0.833002	0.466491
Gröningen: Pfund = 10 Onces = 100 Looden = 1000 Wigtjes = 10000 Korrels	1.785676	1.000000
Hamburg: Pfund	0.864914	0.484362
Hanau: Pfund	0.834633	0.467405
Hannover: Pfund = 2 Mark = 16 Unzen = 32 Loth = 128 Quintl = 512 Oertchen	0.874271	0.489602
Hildesheim: Pfund	0.833604	0.466828
Lausanne: Pfund = 16 Unzen = 32 Loth = 128 Quart = 512 Deniers	0.907732	0.508341
Lavaletta: Pfund = 12 Unzen = 192 Sechzehntheile = 384 Trapasi	0.565402	0.316632
Lemberg: Pfund	0.750000	0.420009

Digitized by Google

Name des Ortes und des Gewichtes.	Enthält	
	Wiener Pfund.	Kilogramme.
Lissabon: Pfund	0.819565	0.458966
London: Pfund Troy-Pound = 12 Ounces = 5760 Grains	0.666418	0.373202
" Pfund avoir du poid	0.809883	0.453544
Lübeck: Pfund	0.863064	0.483326
Lucca: Pfund	0.664584	0.372175
" Pfund Seidengewicht	0.595689	0.333593
Madrid: Pfund = 2 Marcos	0.822957	0.460866
Mahon: Rottel	0.750380	0.420222
Mailand: Pfund, metrisches	1.785676	1.000000
" Pfund, großes	1.345000	0.753216
" Pfund, kleines	0.575000	0.322007
Messina: Cassice	19.493823	10.916775
" Rotolo grosso	1.559506	0.873342
" Rotolo sotile	1.417764	0.793965
Modena: Pfund = 12 Unzen	0.607380	0.340140
München: Pfund	0.999979	0.560000
Neapel: Rotolo	1.591044	0.891004
" Libra = 12 Once = 360 Trappesi = 7200 Acini	0.573202	0.321000
Neufchatel: Pfund	0.928753	0.520113
Nizza: Pfund	0.553642	0.310046
Osnabrück: Pfund	0.882027	0.493946
Oviedo: Pfund (großes)	1.234447	0.691305
Palma: Rotolo	0.750381	0.420222
Paris: Kilogramme	1.785676	1.000000
" Altes Pfund = 16 Unzen = 128 Gros	0.874099	0.489506
Parma: Pfund = 12 Unzen = 288 Denari = 6912 Gran	0.582899	0.326431
Patrasso: Pfund = 12 Ounces	0.713506	0.399572
" Pfund Seidengewicht = 15 Ounces	0.891883	0.499465
Petersburg: Pfund = $\frac{1}{40}$ Pud = 32 Loth = 96 Solotnik	0.730331	0.408994
Pisa: Pfund	0.606312	0.339542
Prag: Pfund	0.918470	0.514354
Ragusa: Pfund	0.648618	0.363234
Rom: Pfund = 12 Unzen = 288 Denari = 6912 Grani	0.605749	0.339227
Rostock: Pfund Wagegewicht	0.908109	0.508552
St. Gallen: Pfund, schweres	1.043633	0.584447
" Pfund, leichtes	0.830375	0.465020

Digitized by Google

Name des Ortes und des Gewichtes.	Enthält	
	Wiener Pfund.	Kilogramme.
Schaffhausen: Pfund, schweres	1.026716	0.574973
" Pfund, leichtes	0.821386	0.459986
Solothurn: Pfund	0.926633	0.518926
Stockholm: Schalpfund	0.756302	0.423538
Valencia: Pfund	0.637135	0.356803
Venedig: Pfund, großes	0.851765	0.476999
" Pfund, leichtes	0.537899	0.301230
Warschau: Pfund (Funt)	0.724099	0.405504
Wien: Pfund Handelsgewicht	1.000000	0.560012
" Pfund Münzgewicht	1.022978	0.572880
Wiesbaden: Pfund	0.840493	0.470686
Zürch: Pfund Handelsgewicht	0.941376	0.527182
" Pfund zur Seide	0.836788	0.468611

Das relative oder respective Gewicht eines Körpers wird erhalten, wenn derselbe um einen gewissen Theil seines absoluten Gewichts getragen, also nur noch mit dem Ueberschusse dieses Gewichtes auf eine anderweite Unterlage drückt. Gesetzt es liegt irgend ein Körper z. B. im Wasser (oder Luft), so nimmt derselbe im Wasser einen Raum ein, welchen ein gleich großes Volumen Wasser einnehmen würde, wenn der Körper nicht vorhanden wäre. Der Körper wirgt folglich im Wasser um so viel weniger, als jener seine Stelle ausfüllende Theil Wasser wiegen würde. Ist der Körper sogar leichter als ein dem Volumen nach eben so großer Theil Wasser, so kann das relative Gewicht des Körpers ein negatives werden. Der Körper schwimmt dann im Wasser. Ueber specifisches Gewicht wird in einem eigenen Artikel gehandelt werden.

Glas ist im Allgemeinen jede Materie, welche nach der Schmelzung zu einer durchsichtigen spröden nicht krystallinischen Masse erstarrt. Die Erfindung und erste Bereitung des Glases wird den Phöniciern zugeschrieben, ist also jedenfalls sehr alt. Auch wird erzählt, daß die Alten ein biegsames und streckbares Glas gehabt hätten, welches jedoch nicht wahrscheinlich ist. Erst zu den Zeiten des Nero scheint die Kunst, klares, weißes, krystallhelles Glas zu bereiten, erfunden worden zu sein: man bezog dieses Glas aus Alexandrien in Aegypten. In neuerer Zeit ist die Glasbereitung außerordentlich vervollkommnet worden. — Das gemeine Glas ist saures kieselsaures Kali und Natron, dem öfters noch kieselsaurer Kalk beigemischt ist. — Das Flintglas (v. d. engl. flint, Feuerstein) ist zuerst durch einen Zufall hergestellt worden, und hat sich zu optischen Zwecken als besonders brauchbar erwiesen. Das beste Flintglas hat Frauenhofer bereitet, aber die Bereitungsart

nicht bekannt gemacht. Körner hat ausgezeichnetes Flintglas aus 100 Theilen eines vorher mit Salzsäure behandelten Quarzes, 80 Theilen Messing und 30 Theilen Weinsteinsalz bei sehr großer Hitze verfertigt. — Das Crownglas oder Kronglas ist ein sehr helles feines Krystallglas mit einem Zusatze von Potasche. Ueber die Anwendung des Flintglases und Crownglases zu Herstellung achromatischer optischer Instrumente s. d. Art. Linse und Fernrohr.

Glycium oder Beryllium ist ein in sehr geringer Quantität von Wöhler 1828 dargestelltes Metall, welches mit Sauerstoff die Glycin-, Süß- oder Beryllerde ausmacht. Es ist ein dunkelgraues, unschmelzbares Pulver, welches unter dem Polirstahle dunklen Metallglanz annimmt.

Gold, König oder Sonne der Metalle, ist ein schon in den ältesten Zeiten bekanntes Metall, welches seinen Grund darin haben mag, daß es sich fast nur gediegen, in bedeutender Menge findet. Oft ist es anderen Metallen, als Silber, Kupfer und Blei beigemischt. Es kommt fast in allen Ländern, wenn auch nur in geringer Quantität vor. In der größten Menge findet es sich in Amerika in den Gegenden um den Aequator, im Sande mehrer Flüsse Afrikas und in den Ural-Gegenden in Asien. In Südamerika und im Ural findet man es gewöhnlich in größeren oder kleineren Körnern zerstreut in Grand, Sand und Erde oder im Sande der Flüsse. Große Stücke sind selten, doch wurde 1826 im Ural ein Stück von 21 Pfund in Begleitung mehrer anderen von 2 bis 4 Pfund gefunden. Von den europäischen Goldgruben sind die wichtigsten in Ungarn. Zur Scheidung des Goldes aus seinen Erzen bedient man sich des Queckſilbers, nachdem das fremde Gestein durch Waschen und Schlemmen möglichst entfernt ist. Das Queckſilber scheidet man ab, indem man es durch Leder preßt und aus dem Rückstand abdestillirt. Das Gold hat eine hochgelbe Farbe und starken Metallglanz, krystallisirt in Rautendodekaëdern, Octaëdern, Würfeln und deren Abänderungen, ist weicher als Silber, nicht sehr elastisch und hat wenig Klang. Es ist das dehnbarste von allen Metallen, indem es sich zu ausnehmend dünnen Blättchen schlagen läßt, so daß ein Gran eine Platte von 57 Quadratzoll gibt, und zu den dünnsten Fäden ziehen läßt, so daß ein Gran einen 500 Fuß langen Faden gibt. Das specifische Gewicht des Goldes ist 19,2 bis 19,4. In der Weißglühhitze schmilzt es und nimmt dabei eine meergrüne Farbe an und ist kaum im Brennpunkte des stärksten Brennspiegels etwas flüchtig. Das reine Gold darf durch keine Säure angegriffen werden, nur in Königswasser löst es sich vollständig auf; wenn ein Rückstand bleibt, so ist es nicht rein. Mit Ammoniak muß die Goldauflösung einen braunlichgelben Niederschlag (Knallgold) geben. Durch überschüssiges Ammoniak darf die Auflösung nicht blau gefärbt werden, beim Verdampfen und Glühen darf sie nur reines metallisches Gold hinterlassen. Von allen Metallen hat das Gold die geringste

Digitized by Google

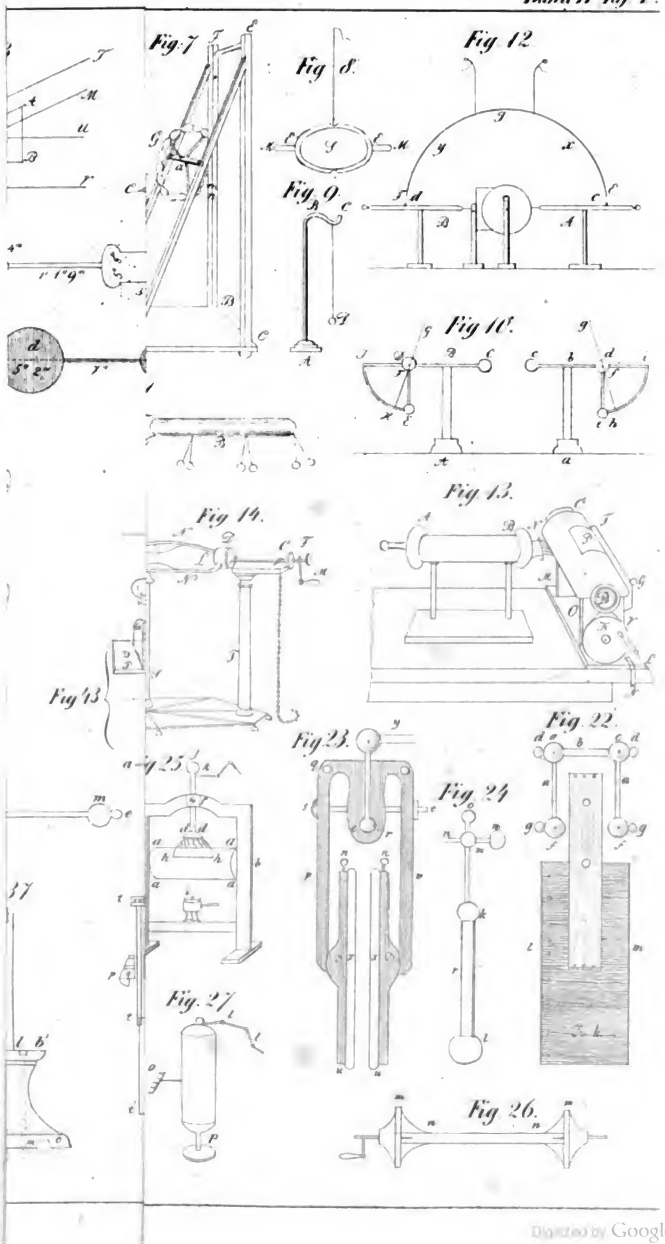
Verwandtschaft zum Sauerstoffe, daher es sich in Berührung mit demselben an der Luft nicht oxydirt. Man erhält Goldoxyd beim Auflösen des Goldes in wäßrigem Chlor oder Königswasser. Es ist ein bräunliches Pulver und überzieht sich beim längeren Aufbewahren, besonders wenn es dem Tageslichte ausgesetzt ist, bald mit einem Goldhäutchen. — Mit Stickstoff verbindet sich das Gold zu Goldoxyd-Ammoniak, Knallgold oder goldsaurem Ammoniak: ein gelbbraunes, ins Purpurrothe ziehendes Pulver, welches in Wasser, verdünnten Säuren und Alkalien unlöslich ist. Dasselbe wird durch jeden Druck, Stoß, Reibung, schnelle Erhitzung zerlegt unter einer sehr heftigen Explosion, weßwegen man sehr vorsichtig mit demselben umgehen muß. — Gold und Chlor geben Chlorgold oder salzsaures Goldoxyd. Man erhält es durch Auflösen des Goldes in Königswasser und Krystallisiren der gesättigten Auflösung. Es krystallisirt in hellgelben vierseitigen Säulen und abgestumpften Octaëdern, schmeckt widerlich scharf und wirkt ätzend. An feuchter Luft zerfließt es, ist sehr leicht in Wasser löslich und diese Lösung färbt die Haut dunkel purpurroth. In der Hitze schmilzt es leicht, entwickelt Salzsäure und Wasser, und verwandelt sich in einfach Chlorgold, eine dunkelrubinrothe krystallinische Masse, welche in Wasser mit rothbrauner Farbe als neutrales salzsaures Goldoxyd löslich ist. Mit Zinnoxydulsalzen gibt die Goldauflösung einen purpurfarbenen oder violetten Niederschlag, Cassius-Purpur oder Mineral-Purpur. Das Goldoxyd und der Mineral-Purpur theilen Erden oder Glas, wenn sie damit erhitzt oder geschmolzen werden, eine Purpurfarbe mit, dienen daher als dauerhafte Malerfarbe und zur Darstellung rothgefärbter Gläser, künstlicher Edelsteine u. s. w. — Gold und Natrium sind verbunden im salzsauren Goldoxyd-Natron, welches aus orangegelben, rechtwinklig vierseitigen Säulen und Tafeln krystallisirt und luftbeständig ist. — Das Gold verbindet sich leicht mit Kupfer und Silber, und man wendet diese Legirungen zu den Münzen, Geräthen und Zierrathen an. Die Verbindung des Goldes mit Kupfer heißt rothe Karatirung, die mit Silber weiße Karatirung. Gold mit Silber und Kupfer zugleich gemischt gibt die gemischte Karatirung. Karat ist ein Gewicht, davon 24 auf Ein Pfund Münzgewicht (= 16 Loth gewöhnliches Gewicht) gehen. Man zählt von 24 Karat an, so daß 24 karatiges Gold reines Gold ist, 23 karatiges aus 23 Theilen Gold und 1 Theil Kupfer oder Silber besteht u. s. w. Die Versetzung mit Silber und Kupfer geschieht, um dem Golde eine größere Festigkeit zu geben. Um das verarbeitete Gold zu prüfen, bedient man sich zunächst des Probiersteines und der Probiernadeln. Der Probierstein ist eine schwarze geschliffene Kieselschieferart. Die Nadeln sind kleine aus Gold gemachte Streifen von verschiedener Legirung, für jeden halben Karat, wenigstens von 15 bis 23½, und mit 5 verschiedenen Zumischungen, als: mit reinem Silber, mit reinem Kupfer, mit einer Mischung von ⅔ Silber und ⅓ Kupfer, mit einer Mischung von gleichen Theilen Kupfer und Silber und mit einer Mischung von ⅓ Silber und ⅔ Ku-

Digitized by Google

pfer. Auf dem Probierſteine macht man durch Streichen mit dem zu prüfenden Golde einen metalliſchen Strich, und neben demſelben macht man dergleichen Striche mit der Probiernadel, deren Farbe derjenigen der Probe am meiſten ähnelt. Die Probe hat dann die nämliche Miſchung mit derjenigen Nadel, deren metalliſche Abfärbung mit der der Probe am beſten übereinſtimmt. Die Anwendung des Goldes in ſeinen Legirungen zu Münzen und zu Geſchmeide, zum Vergolden iſt bekannt; in neuerer Zeit hat man auch Gold (namentlich die oben angeführten Verbindungen) anſtatt des Queckſilbers bei ſyphilitiſchen Krankheiten in der Medicin angewendet.

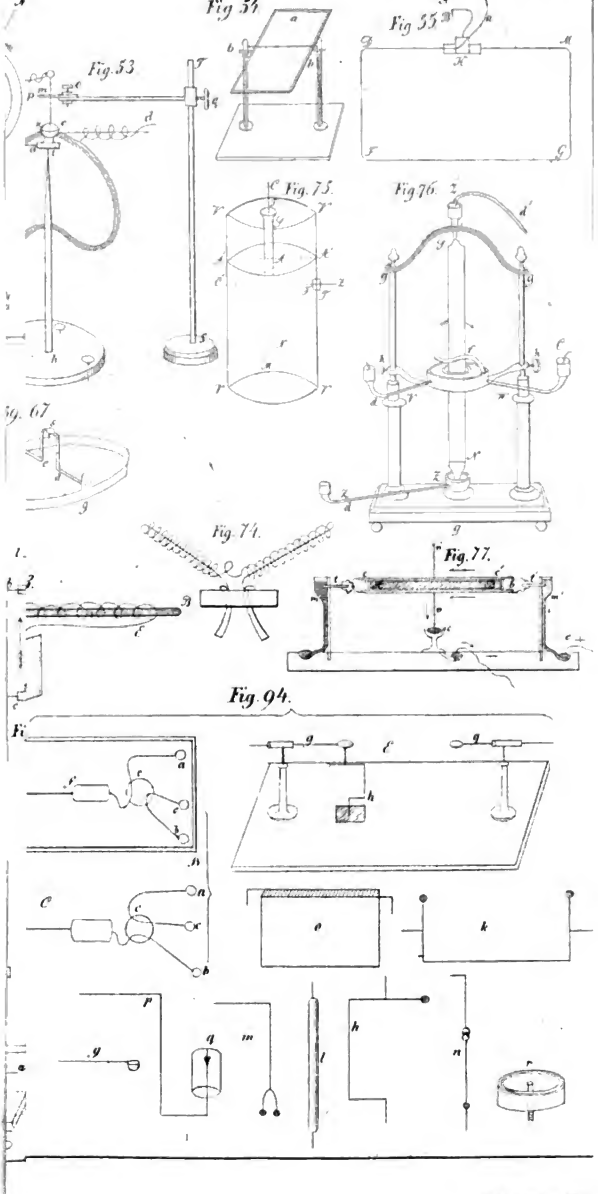
Ende des zweiten Bandes.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 102.

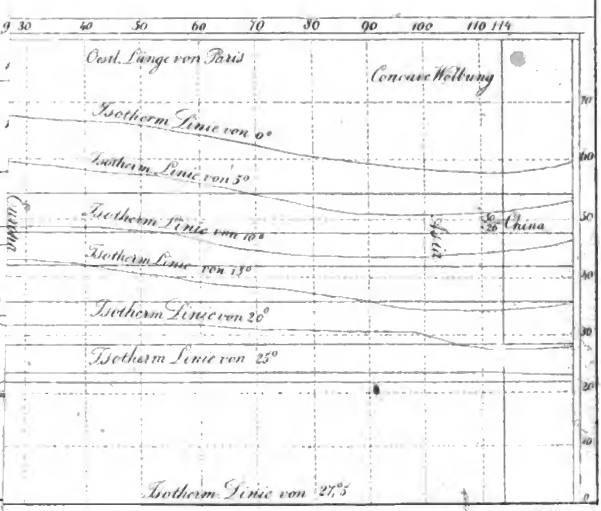
Fig. 104.

Fig. 107.

Fig. 103.

Fig. 116.

Fig. 120.



Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 141.

Fig. 140.

Fig. 151.

Fig. 152.

Fig. 149.

Fig. 162.

Fig. 163.

Fig. 160.

Fig. 161.

Fig. 171.

Fig. 174.

Fig. 164.

Fig. 169.

Fig. 173.

Fig. 172.

Fig. 168 s. d. folg. Tafel.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 198.

Fig. 199.

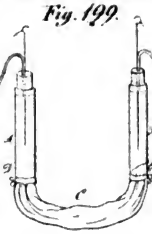


Fig. 200.

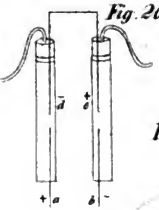


Fig. 206.

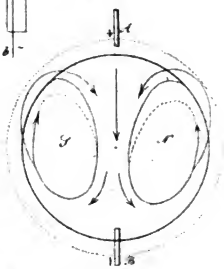


Fig. 201.

Fig. 202.

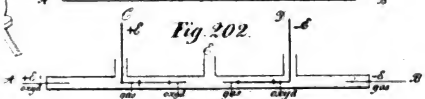


Fig. 203.

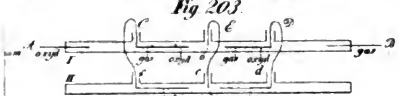


Fig. 204.

Fig. 207.

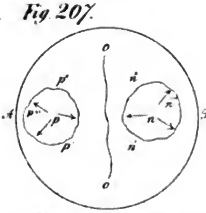


Fig. 212.

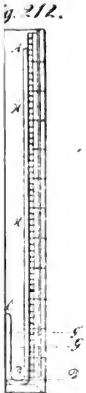


Fig. 211.

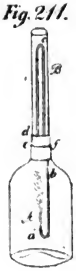


Fig. 210.

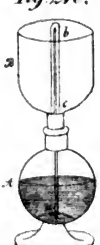


Fig. 209

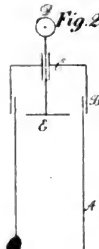


Fig. 208.

Fig. 216.

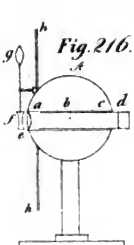


Fig. 217.

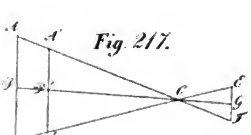
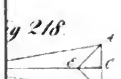


Fig. 218.



Digitized by Google